

Geospatial Information Experiments for Emergency Management

应急空间信息学实验

王 飞 郑晓翠 袁宏永 钟少波 黄全义 编著

清华大学出版社

应急空间信息学实验

王　飞　郑晓翠　袁宏永　钟少波　黄全义　编著

清华大学出版社
北　京

图书在版编目(CIP)数据

应急空间信息学实验/王飞等编著. —北京：清华大学出版社，2016
ISBN 978-7-302-45561-5

Ⅰ.①应…　Ⅱ.①王…　Ⅲ.①地理信息系统—实验—教材　Ⅳ.①P208.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 278217 号

责任编辑：黎　强
封面设计：常雪影
责任校对：王淑云
责任印制：沈　露

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，　http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　**邮　　编**：100084
社 总 机：010-62770175　　**邮　　购**：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，　c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈：010-62772015，　zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者：北京富博印刷有限公司
装 订 者：北京市密云县京文制本装订厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　**印　　张**：11.5　　**字　　数**：277 千字
(附光盘 1 张)
版　　次：2016 年 11 月第 1 版　　**印　　次**：2016 年 11 月第1次印刷
印　　数：1～1000
定　　价：39.00 元

产品编号：070262-01

前　言

近些年国内外学者运用多学科交叉的理论与方法深入探索面向突发事件应急管理的科学问题，在此过程中产生了一个新的学科研究方向“应急空间信息学”，该名词首次在本书中使用，代表公共安全与应急工程学科以及空间信息学关联学科的交叉，其中空间信息学科主要包括全球卫星定位系统(global navigation satellite system, GNSS 或 global positioning system, GPS)、地理信息系统(geographic information system，GIS)和遥感(remote sensing，RS)技术，亦被称为 3S 技术，是地理空间技术、传感器技术、卫星定位与导航技术和计算机技术、通信技术等多学科高度集成的对空间信息获取、处理、分析、可视化、传播和应用的现代信息技术。

应急管理包含突发事件的预防与准备、监测与预警、处置与救援以及恢复与重建等应对活动。在整个过程中，3S 技术贯穿应急管理的每个阶段，如通过 RS 和 GPS 向 GIS 提供或更新区域地理信息以及动态空间定位信息，GIS 进行特定的空间分析，以及从 RS 和 GPS 提供的浩如烟海的数据中提取分析有用信息，并进行综合集成，为科学的应急决策提供关键的技术支撑。

本书在“应急空间信息学”专业理论课程的基础上，精选了多个典型的突发事件应急管理案例，通过实验操作，结合深圳大学城校园实际地理空间数据，借助主流或开源的专业软件，使读者学以致用，在了解专业软件主要功能和使用方法的基础上，学习利用 3S 技术管理应急空间信息的方法和技术，解决现实应急管理中遇到的问题。

本书适合于公共安全科学领域、3S 科学领域的学生、研究人员、工作人员，也适合于正在学习 3S 技术和正在应用二/三维地理信息系统软件技术的读者。书中每个实验练习都配有实验课堂数据(附光盘)，并提出了拓展练习，读者可以根据工作、学习中的实际案例进行拓展。

本书是在“十三五”国家重点研发计划(2016YFC0803107)和(2016YFB0502601)、广东省应急平台技术研究中心项目(2012A032100001)支持下完成的。

我们感谢清华大学深圳研究生院安全科学与技术研究所以及清华大学公共安全研究院的所有成员在本书的编写过程中给予的建议和支持，感谢武军晖对数据整理、稿件校对等付出的努力。感谢清华大学和清华大学深圳研究生院对本书出版的大力支持。

由于水平有限，书中难免有错漏之处，望读者不吝指正。

作者

2016 年 4 月于深圳

目　　录

实验一　创建应急空间数据库

一、实验目的

1. 了解公共安全与应急管理领域的数据库标准规范。

2. 掌握应急空间数据库的基本概念及不同类型数据属性信息的设定。

3. 掌握应急空间数据库的创建过程。

4. 熟悉 GPS 数据采集的工作原理，掌握如何利用 GNSS Planning Online 软件进行分析和规划 GPS 数据采集任务。

5. 掌握使用 GPS 接收器采集应急地理要素的方法。

二、实验内容

1. 实地野外调研目标区(本实验以深圳市南山区西丽深圳大学城清华园区为目标区，以下不再复述)，为其创建应急空间数据库。

2. 遵照构建的应急空间数据库，通过 GNSS Planning Online 软件规划合理的数据采集任务，利用 GPS 接收器完成目标区所覆盖要素的坐标信息采集，为后续实验提供数据基础。

3. 遵照构建的应急空间数据库，完成深圳大学城清华园区所覆盖要素的属性信息采集，为后续实验提供数据基础。

三、输入输出

1. 输入数据：无

2. 拓展练习输出数据

某区域应急空间数据库，建议为 EXCEL 表格形式，遵循以下命名格式：练习 1_练习者姓名。表格内容须包含区域内的所有应急空间要素，要素应具有完整的空间和非空间属性信息。

四、预备知识

1. 空间信息与应急空间信息

空间信息是反映地理实体空间分布特征的信息。空间分布特征包括实体的位置、形状及实体间的空间关系、区域空间结构等[1]。地理学通过空间信息的获取、分析、加工和综合，揭示区域空间分布、变化的规律。空间信息借助于空间信息载体进行传递，比如包含了不同图形的图像或地图。图形是表示空间信息的主要形式，地理实体可被描述为点、线、面等基本图形元素及其组合。通常情况下，空间信息只有和属性信息、时间信息结合起来才能完整地描述地理实体。

根据《突发事件应对法》规定，应急管理分为四个主要环节，分别是应急预防与准备、监测与预警、应急处置与救援、事后恢复与重建[2]。每一个环节都需要大量的空间信息数据支持。应急空间信息是指在应急管理的各个阶段和活动中，使用或处理、分析产生的代表突发事件、承灾载体、应急管理活动的各类图形形式要素的总称。应急空间信息并不是一种新的形式的信息，而是各类地理实体在置身于应急管理这一上下文环境后，被赋予了新的涵义。由此，也带来了应急空间信息在获取、管理、处理、分析等环节出现的新的需求和问题。例如传统的水利、交通等领域对空间信息的精确度要求比较高，数据获取的频度较低。而在应急管理工作中，通常要求数据具有较好的时效性，同时突发事件高度的时变特征，往往要求频繁地获取同一目标或区域的数据。应急空间信息除了拥有空间信息所具有的定位特征、尺度特征、维度特征等之外，还具有很强的时效性、聚焦性、多重性和依赖性。

2. 矢量数据模型与栅格数据模型

计算机通过矢量和栅格两种基本的数据模型来描述地理实体。矢量数据模型是代表地图图形的各离散点平面坐标(x,y)的有序集合，矢量数据结构用于表示地图图形元素几何数据之间及其与属性数据之间的相互关系，其坐标空间假定为连续空间，可以更加精确地表达空间对象的空间位置[3]。使用矢量数据描述的空间对象可以分为点实体、线实体和面实体。点实体包含单独一对(x,y)坐标定位的空间实体（如果是三维空间下的空间实体表达，可以包含z坐标来描述高程信息），是不可再分的地理实体。线实体是由直线元素组成的各种线性要素，直线元素由两对(x,y)坐标定义，线实体可以是连续而复杂的曲线（也称为“弧”）。面实体也称为多边形，通常由一个边界来定义，而边界是由形成一个封闭环状的线实体所组成。如果面实体有洞在其中，那么可以采用多个封闭的环以描述它。为了描述真实世界中地理空间实体的相对位置，除了表示出空间实体的位置、形状和属性之外，还要将实体之间的相互关系进行描述，这些关系就是拓扑关系，是图形在保持连续状态下变形，但图形相互关系不变的性质。拓扑关系可以非常清楚地反映实体之间的逻辑结构关系，在空间信息的管理和分析上发挥重要作用，主要包括提升空间数据质量和辅助空间数据处理、查询和分析。通过拓扑关系可以得知一个矢量实体和其他矢量实体的关系，大大解决了实际中的很多问题，比如想了解污染河流穿过的村庄、传染病发病城市和哪些城市是相邻的、某个行政区域内有多少危险源和防护目标等信息，就需要分析实体之间的拓扑关系。

栅格数据模型将连续空间离散化，即用二维格网覆盖整个连续空间，格网（又称像素或像元）可以分为规则的和不规则的，方格、三角形和六角形是空间数据处理中最常用的格网方式[3]。格网的特征参数有尺寸、形状、方位和间距等。地理信息系统中的栅格数据经常是来自人工和卫星遥感影像设备，以及用于数字化文件的设备。由于像元具有固定的尺寸和位置，并且按照一定的规则排序，所以其表示的空间实体位置关系是通过像元的行号和列号来表示的。使用栅格数据描述的空间对象也可以分为点实体、线实体和面实体。点实体在栅格数据中表示为一个像元，线实体则表示为在一定方向上连接成串的相邻像元集合，面实体则由聚在一起的相邻像元集合表示。使用栅格数据结构存储的地理数据需要按照分层组织存储，每一层由一组格网坐标组成，具有单一的属性数据或专题信息，比如可以用一个栅格层来表示道路，另一个栅格层来表示河流。

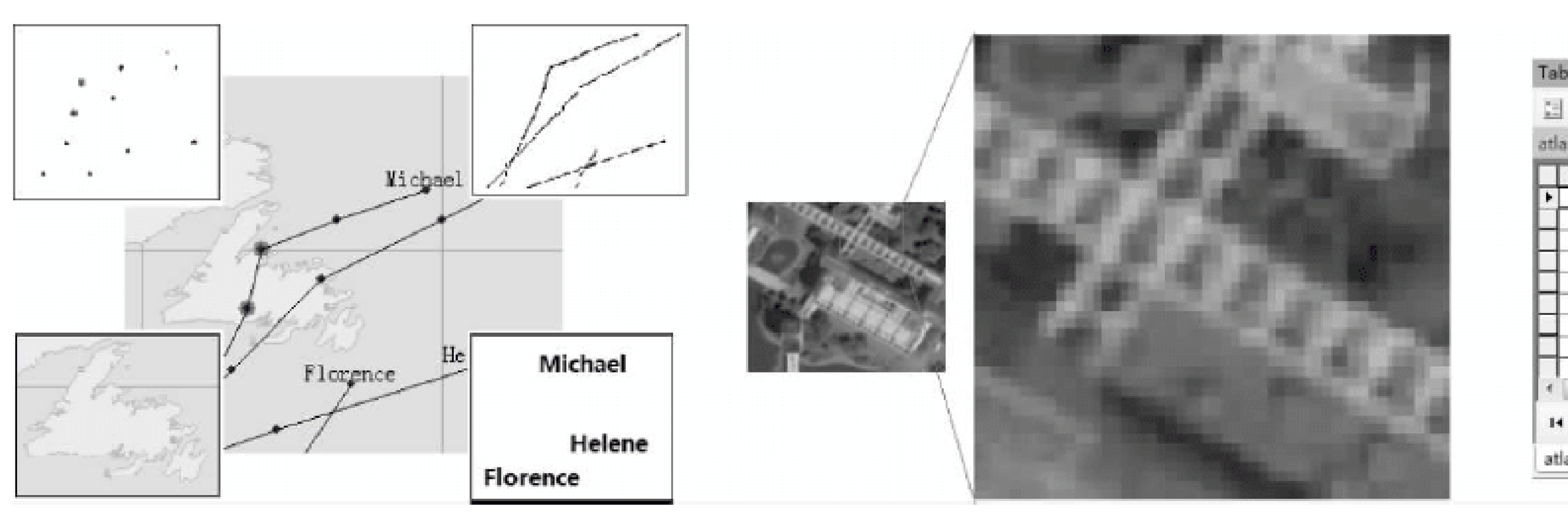
3. 空间数据库与应急数据库

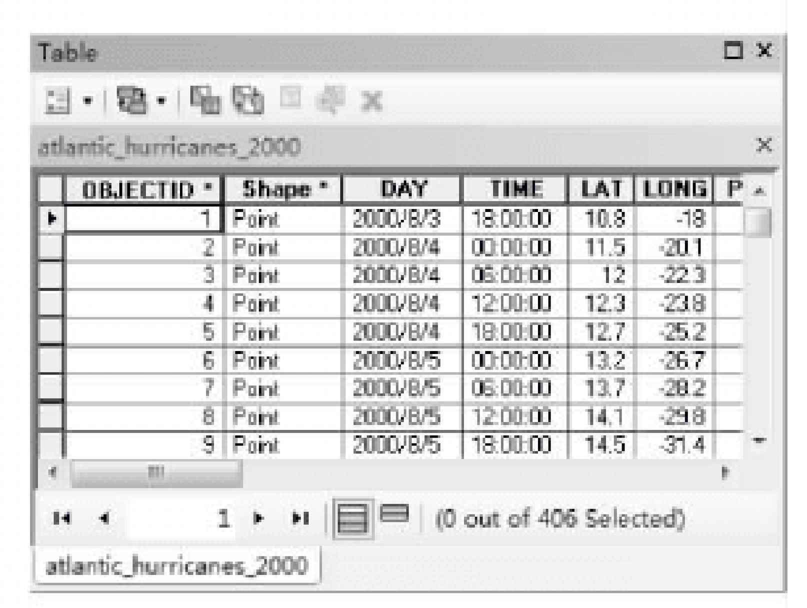
空间数据库也叫地理数据库，是某一区域内关于地理实体空间特征、时间特征、属性特征的数据集合，为空间数据提供标准格式、储存方法和有效的管理手段[17]。实际上地理信息系统的主要业务就是围绕空间数据的采集、加工、存储、分析展开的，因此空间数据库是地理信息系统的核心，其性能直接影响了地理信息系统的运行效率。

应急空间数据库是站在突发事件应急管理的角度，对空间数据和非空间数据进行分类、存储和管理，以辅助应急管理过程为最终目的，因此其数据分类方法、属性信息设定等均具有应急领域专有的特点，比如可包含重点防护目标、重大危险源、避护场所等数据类别，而在每个类别中，又存储了该类别数据与应急管理密切相关的属性信息，比如应急联系人、可能的受灾形式等信息。

国内目前已发布了应急领域的若干数据库标准规范，如由广东省政府应急管理办公室(应急办)、清华大学公共安全研究院、清华大学深圳研究生院共同起草，于 2013 年 3 月 31 日正式实施的《广东省应急平台体系数据库规范 基础信息》(DB44/T 1099—2012)，作为国内首个应急平台体系地方标准，有力推动了广东省应急平台体系建设，特别是全省统一应急管理数据库建设工作的开展。本练习可以参考这些标准规范，通过实地调研，合理规划，建立目标区应急空间数据库。

Geodatabase 是地理数据库在特定的地理信息系统——ArcGIS 中的具体形式，是 ArcGIS 中各种类型地理数据集的集合，主要包含三种数据集类型，分别是要素类、栅格数据集、表，如图 1-1 所示[4]。要素类可以表示具有相同空间制图表达和一组通用属性的同类要素的集合，比如道路、建筑物等，最常用的四种要素类是点、线、面、注记。表可以管理一系列简单且必要的关系数据，比如具有相同公共字段的关联数据——某一学校的学生基础信息表。栅格数据是通过将世界分割成在格网上布局的离散像元来表示地理要素，常用作地图的底图。Geodatabase 是 ArcGIS 存储、表示和管理地理信息的重要工具，其内容和结构可以根据使用者的需求灵活设置。





OBJECTID *	Shape *	DAY	TIME	LAT	LONG	P
1	Point	2000/8/3	18:00:00	10.8	-18	
2	Point	2000/8/4	00:00:00	11.5	-20.1	
3	Point	2000/8/4	06:00:00	12	-22.3	
4	Point	2000/8/4	12:00:00	12.3	-23.8	
5	Point	2000/8/4	18:00:00	12.7	-25.2	
6	Point	2000/8/5	00:00:00	13.2	-26.7	
7	Point	2000/8/5	06:00:00	13.7	-28.2	
8	Point	2000/8/5	12:00:00	14.1	-29.8	
9	Point	2000/8/5	18:00:00	14.5	-31.4	

图 1-1　ArcGIS 中的要素类、栅格数据、表

对于应急管理人员来说，可以认为 Geodatabase 是应急空间数据库在 ArcGIS 平台中的表现形式，通过设计和构建 Geodatabase，应急管理人员得以在 ArcGIS 中组织、使用、分析应急空间信息。

4. GPS 技术

GPS 是一种利用人造地球卫星进行空间定位和导航的技术，具有全天候、高精度、自动化、高效益等显著特点。借助于 GPS 的空间定位能力，可以进行坐标数据的采集和更

新，为应急空间数据的获取提供了一种先进、有效的手段。GPS 的导航功能则可以对各种移动载体进行实时跟踪，结合移动通信技术，可以在应急处置与救援中高效地执行应急指挥调度。因此 GPS 技术广泛应用于应急管理的应急资源管理、危险源定位、重点区域监测、目标追踪等环节。

GPS 全球定位系统由三部分组成：空间部分——GPS 星座；地面控制部分——地面监控系统；用户设备部分——信号接收机。其中 GPS 信号接收机主要功能是能够捕获到按一定卫星截止角所选择的待测卫星，并跟踪这些卫星的运行。当接收机捕获到跟踪的卫星信号后，即可测量出接收天线至卫星的伪距离和距离的变化率，解调出卫星轨道参数等数据。根据这些数据，接收机中的微处理单元就可按定位解算方法进行定位计算，计算出用户所在地理位置的经纬度、高度、速度、时间等信息。接收机硬件和机内软件以及 GPS 数据的后处理软件包构成完整的 GPS 用户设备。GPS 接收机的基本类型分为导航型和大地型，如图 1-2 所示，根据接收的载波频率通常又可分为单频接收机和双频接收机[5]。



图 1-2 (a) 导航型 GPS 接收机；(b)大地型 GPS 接收机

目前生产 GPS 接收机的主要厂商有：美国天宝(Trimble)、美国佳明(Garmin)、中国合众思创(UniStrong)等。本实验采用的是 Garmin 的 eTrex20 单频手持式 GPS 接收机，如图 1-3 所示，其具有航点标定与管理、面积/长度测量、坐标转换、航迹/航线、地图与导航等功能，可满足基本的 GPS 坐标信息采集工作[6]。



图 1-3 Garmin eTrex20 GPS 接收机[6]

5. GNSS Planning Online 软件应用

GNSS Planning Online 是一个用于规划 GNSS 数据采集任务的在线软件，由美国天宝(Trimble)公司开发并免费开放，该软件不局限于 GPS 卫星系统，也可以选择 GLONASS、Galileo、北斗，或者 QZSS 卫星系统，可以设置采集时间和采集环境，查看分析结果，估计采集数据的误差，从而帮助使用者合理规划数据采集任务[7]。其界面如图 1-4 所示。



图 1-4　GNSS Planning Online 在线界面[7]

五、实验步骤

1. 制定应急空间数据库数据采集表格

查阅《广东省应急平台体系数据库规范 基础信息》(以下简称《数据库规范》)，实地调研目标区——深圳大学城清华园区，将应急相关的所有地物合理分类，并确定其必要的属性信息、数据类型、约束条件等。实地调研后会发现，有部分地物可以直接使用《数据库规范》中的信息表，有部分地物需要自行编制信息表。

深圳大学城清华园区内与应急相关的地物包括建筑物、道路、湖泊、河流，以及包括路灯、电话亭、红绿灯在内的多种兴趣点。依据标准规范中基础信息数据库的分类标准，清华园区内的建筑物又可进一步分为重点防护目标、避护场所、医疗卫生单位三类，这三类地物可以参照数据库规范中的信息表来进行数据采集。道路、湖泊、河流以及各种兴趣点需自行编制数据信息表格，因此该数据库可以分为重点防护目标、避护场所、医疗卫生单位、道路、水域、兴趣点六个表单。下面以兴趣点为例，讲解如何制定一个数据采集表格。

首先对于数据库中的每一条信息，系统都会自动生成内部主键与统一标识码，这是每条信息的“身份证”。其次每个兴趣点都包含空间属性和非空间属性，空间属性告诉我们该对象“在哪里”，包括其经纬度、高度，以及相应的坐标系统和高程基准。非空间属性告诉我们该对象“是什么”，包含的信息比较多样化，需要我们进一步梳理。

经实地调研，确定清华园区内兴趣点包括路灯、消火栓、告示牌、电话亭、自动售货机、ATM 机、红绿灯、出入口等。他们包含的共同的非空间属性包括各自的名称、用途、类别、应急管理工作中必须获取的负责人、联系人、行政区划信息、数据来源和更新时间信息等。路灯由于其特有的唯一编号信息，目前已经在应急管理工作中广泛应用，因此专门设立“编号”属性，记录路灯的编号。其余各兴趣点特有的属性，比如 ATM 所属银行、电话亭电话号码等，可以在备注中描述。

为规范数据信息，需要设定一定的约束条件，比如数据类型、字段长度、填写格式、取值范围等。最终制定的兴趣点信息如表 1-1 所示。

表 1-1　兴趣点信息表

序号	字段名称	字段类型	字段长度	字段说明
1	兴趣点编号	字符型	32	系统内部主键，自动生成
2	统一标识码	字符型	32	兴趣点的唯一标识，自动生成
3	名称	字符型	100	兴趣点的中文全称
4	类型代码	字符型	10	兴趣点的类型代码，包括 1（路灯）、2（消火栓）、3（告示牌）、4（电话亭）、5（自动售货机）、6（ATM 机）、7（红绿灯）、8（出入口）、99（其他）
5	编号	数值型	5	兴趣点固有的编号，如路灯上的编号
6	用途	字符型	500	该兴趣点的主要用途
7	坐标系统代码	字符型	1	兴趣点平面坐标采用的坐标系统代码，包括 1(2000 国家大地坐标系)、2(1980 西安坐标系)、3(1954 年北京坐标系)、4(WGS84 坐标系)、5(其他坐标系)
8	经度	数值型	8，5	兴趣点的经度，十进制
9	纬度	数值型	7，5	兴趣点的纬度，十进制
10	高程基准代码	字符型	1	兴趣点高程采用的高程基准代码，包括 1(1985 国家高程基准)、2(1956 年黄海高程系)、3(珠江高程基准)、4(其他高程基准)
11	高程	数值型	7，3	兴趣点的高程，单位为米
12	行政区划代码	字符型	12	兴趣点所在行政区划的代码
13	负责人	字符型	200	兴趣点负责人的姓名。多个负责人姓名用英文逗号分隔
14	负责人办公电话	字符型	200	兴趣点负责人的办公电话。多个电话用英文逗号分隔
15	负责人移动电话	字符型	200	兴趣点负责人的移动电话。多个电话用英文逗号分隔
16	负责人住宅电话	字符型	200	兴趣点负责人的住宅电话。多个电话用英文逗号分隔
17	联系人	字符型	200	兴趣点联系人的姓名。多个联系人姓名用英文逗号分隔

续表

序号	字段名称	字段类型	字段长度	字段说明
18	联系人办公电话	字符型	200	兴趣点联系人的办公电话。多个电话用英文逗号分隔
19	联系人移动电话	字符型	200	兴趣点联系人的移动电话。多个电话用英文逗号分隔
20	联系人住宅电话	字符型	200	兴趣点联系人的住宅电话。多个电话用英文逗号分隔
21	联系人电子邮箱	字符型	200	兴趣点联系人的电子邮箱。多个电子邮箱用英文逗号分隔
22	主管单位	字符型	100	兴趣点主管单位的名称
23	主管单位地址	字符型	200	兴趣点主管单位的详细地址
24	数据来源单位	字符型	9	该数据的来源单位代码
25	最近更新时间	日期时间型		该数据的最近更新时间，形式为 yyyy-mm-dd-hh：mm：ss
26	备注	字符型	500	兴趣点简短的文字描述，或者补充说明信息。比如电话亭电话号码、出入口所属建筑、告示牌用途等

本实验提示1：光盘中包含了完整的深圳大学城清华园区应急空间数据库框架，包括六个信息表以及部分参考数据，可供读者参考及之后的练习使用。

2. 使用 GNSS Planning Online 规划数据采集任务

（1）在浏览器中输入如下地址，打开 GNSS Planning Online

http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline/#/Settings

（2）根据 GPS 采集作业的时间和环境，设置 GNSS Planning 参数，包括经纬度、高度、障碍物高度角、起始时间、时间间隔、时区、选择导航卫星等。主要设置界面如图1-5所示。



图1-5　GNSS Planning Online 主要设置界面[7]

本实验提示 2：在参数设置中，可以利用“设置”界面的“选择”按钮，在地图上单击目标点，从而获取目标点的经纬度信息；可以利用“障碍物”按钮，设置 360 度障碍物的方位角和高度角；设置完成后，要单击“应用”按钮，使设置生效。

本实验提示 3：“卫星选择”界面随着“设置”界面参数的变化而变化，Garmin eTrex20 同时支持 GPS 与 GLONASS 两套卫星定位系统，因此可以勾选只分析 GPS 或同时分析 GPS 与 GLONASS。

(3) 查看分析结果，判断数据采集作业在什么时段最佳。

在“高度角”、“可见卫星数”、“DOP 值”、“可见性”、“卫星分布图”、“世界投影”、“电离层地图”、“电离层信息”等界面查看分析结果。DOP 是 Dilution of Precision 的缩写，该值表征了采集的 GPS 坐标的相对误差，因此“DOP 值”界面最直观地反映出采集任务规划是否合理，显然，应该选取 DOP 值最小的时段开展数据采集工作。

本实验提示 4：在“高度角”、“可见卫星数”、“DOP 值”、“可见性”、“卫星分布图”、“世界投影”、“电离层地图”、“电离层信息”等界面右下角有一个时间滑块，拖动该滑块，可以看到各参数随时间的变化。

3. 户外实地开展 GPS 数据采集

本示例采用 Garmin® eTrex20 GPS 接收机完成 GPS 数据采集。eTrex20 默认使用经纬度坐标显示格式，WGS84 大地坐标系统。其开机后主菜单页面如图 1-6 所示，面板上的摇杆可用于选择光标位置并按压选择。



图 1-6 eTrex20 主菜单页面[6]

数据采集的基本步骤包括：

1) 开机定位

将 GPS 接收机拿至室外较开阔地点，避免受到高楼和树木的遮挡。长按电源键开机，等待机器自动搜索卫星信号。短按电源键，或者在主菜单里选择“卫星”选项，可以查看目前已经接收到的卫星信号的强度，其页面如图 1-7 所示。

一般情况下，搜到 3 颗卫星信号就可以完成定位，当接收到 4 颗卫星信号时，高程信息就可以被测出。接收到的卫星数量越多，定位误差就越小。

本实验提示 5：eTrex20 支持 GPS 和 GLONASS 两套卫星定位系统，可以在设置中选择只接收一套还是同时接收两套，一般情况下，卫星编号 32 以下的是 GPS 卫星，卫星编号 32 以上的是 GLONASS 卫星。

本实验提示 6：首次使用一般需要 2 分钟的搜星定位时间，多次同一地点使用的话则仅需要 30 秒左右就可以完成搜星定位。如果超过三个月以上未使用该机器，或者距离上次使用地点超过数百公里，则可能需要 5 分钟的搜星定位时间。

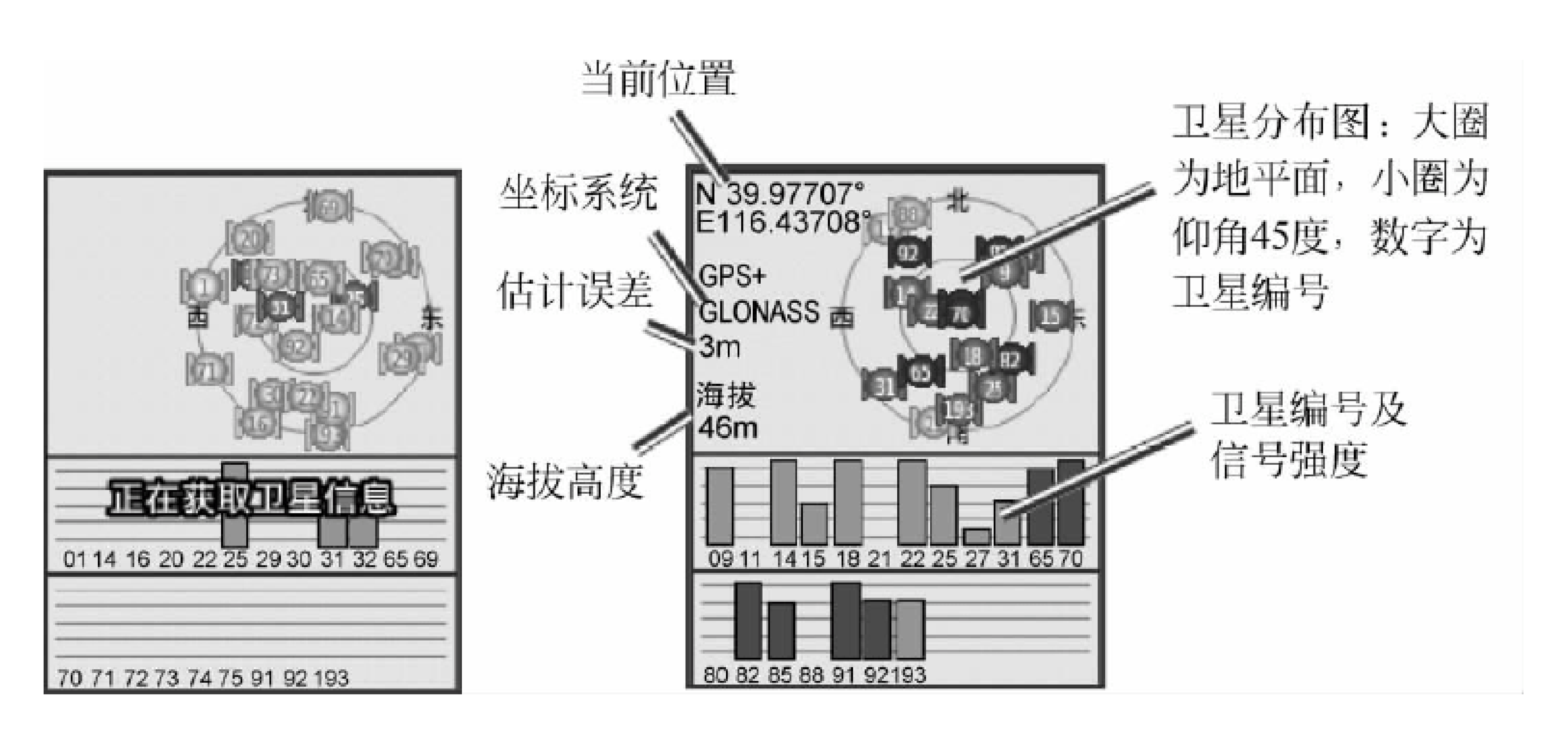


图 1-7　eTrex20 卫星状态显示页面[6]

2）航点标定

eTrex20 提供了多种现场航点标定方法，其中最常用的是“位置平均”和“投影航点法”。

对于开阔地点的航点，可以通过“位置平均”法测得其高精度位置信息，GPS 接收机会自动对同一地点测量一系列位置坐标，并求平均值，通过界面上的进度条可以得知当前可靠度/精度，当可靠度/精度达到要求后，按下“保存”即可完成当前航点的测量。其界面如图 1-8 所示。



图 1-8　位置平均测量法界面[6]

对于因道路阻碍、地形受限、周边环境遮挡等原因而导致无法准确测得的位置，可以采用“投影航点法”，通过测量一个高精度的当前位置，以及目标位置距离当前位置的方位角度(方位角限制：0-359°，正北为 0°，顺时针转动角度增加)和距离，推算目标位置的坐标。其操作界面如图 1-9 所示。



图 1-9　投影航点法[6]

以深圳大学城清华园区荷园 1 号楼为例。荷园 1 号楼位置如图 1-10 所示,该楼呈“十”字型,外侧角点大部分能用 GPS 接收机直接测得 GPS 坐标,内侧角点受到建筑自身以及周边高楼影响,很难测得准确的 GPS 坐标,此时可以先测得图 1-10 中 A 点坐标,为(22.59511381N,113.962821E),再测得 A 点与 B 点的方位角度为 270°(该楼为正的东西走向),距离为 9.85 米,利用 eTrex20 的投影航点法,可以得到 B 点坐标为(22.59511381N,113.9627905E)。

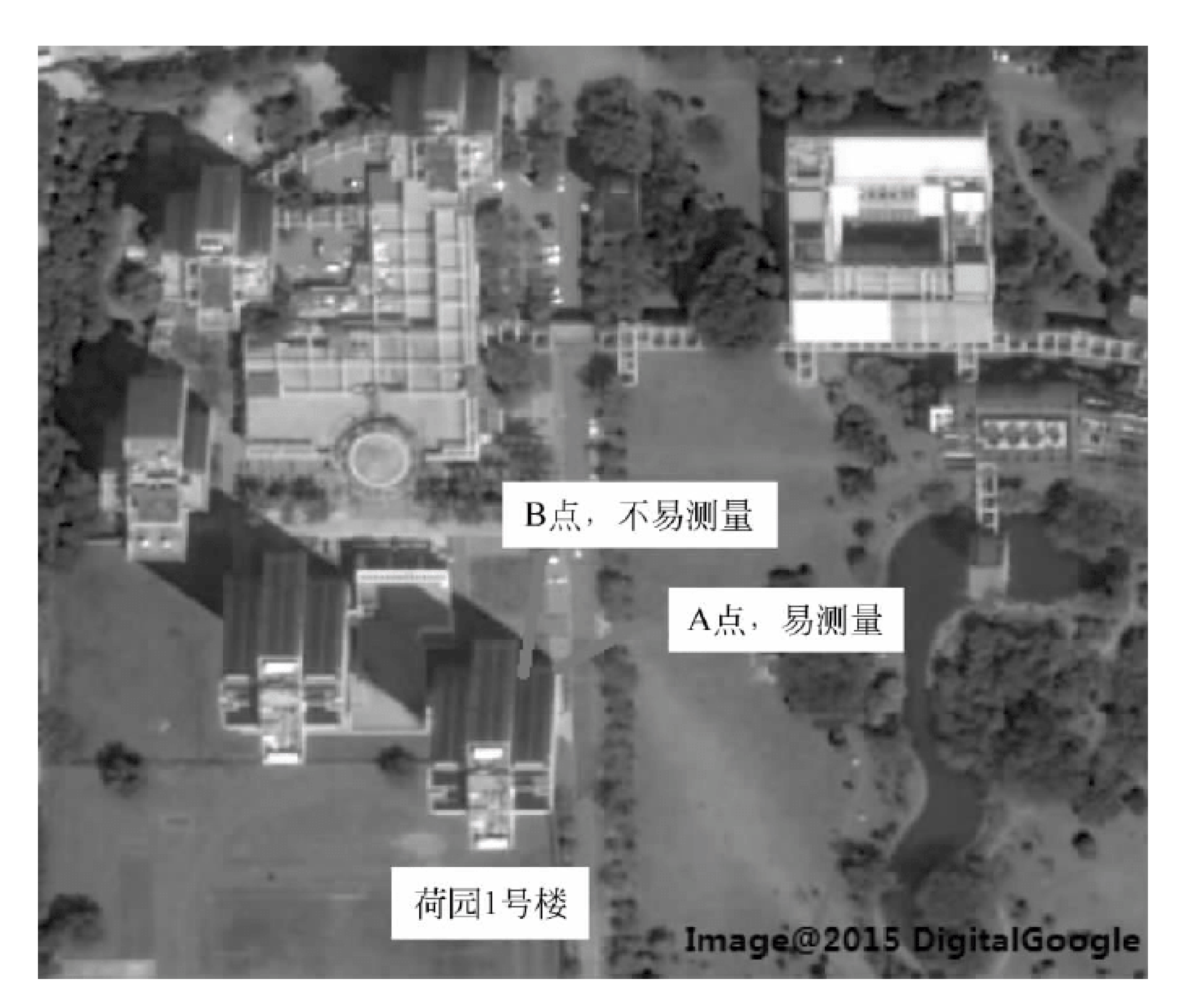


图 1-10　荷园 1 号楼位置

本实验提示 7:航点测量过程中,要经常关注搜星情况。

本实验提示 8:eTrex20 可以存储 2000 个航点。

3) 航迹记录

在主菜单“设置”选项的“航迹”中进行航迹参数设置。可以选择是否开启航迹记录功能,默认情况下是开启,因此当 eTrex20 完成搜星定位之后,就会自动开始记录航迹,如果用户希望开机后自定义航迹记录起始点,可以利用“当前航迹”—“储存部分航迹”功能挑选当前航迹的起始航点,或者在开始测量前点选“当前航迹”—“清除当前航迹”,将准备阶段记录的航迹清除掉。记录过程中可以打开“当前航迹”—“地图浏览”功能,查看航迹的动态变化过程。航迹记录完毕后点选“当前航迹”—“保存航迹”将航迹保存下来。

航迹记录有三种模式:距离间隔、时间间隔及自动间隔,使用者可以自行设定每隔多少距离或时间记录一笔航迹资料。选择“距离”时单位为公里,选择“时间”时单位为秒,而选择“自动”模式则分为最密、稠密、正常、稀疏、最疏五个等级。相关界面如图 1-11 所示。

本实验提示 9:在记录航迹过程中,如遇到卫星信号中断的情况,使得航迹记录产生分段现象,机器会记录下每段的起始时间,提供使用者在完成一个行程后,自行选择要保存的航迹段。如遇到这种情况,需补测或者重测。

本实验提示 10:eTrex20 可以存储 200 条航迹,包含 10000 个航点。

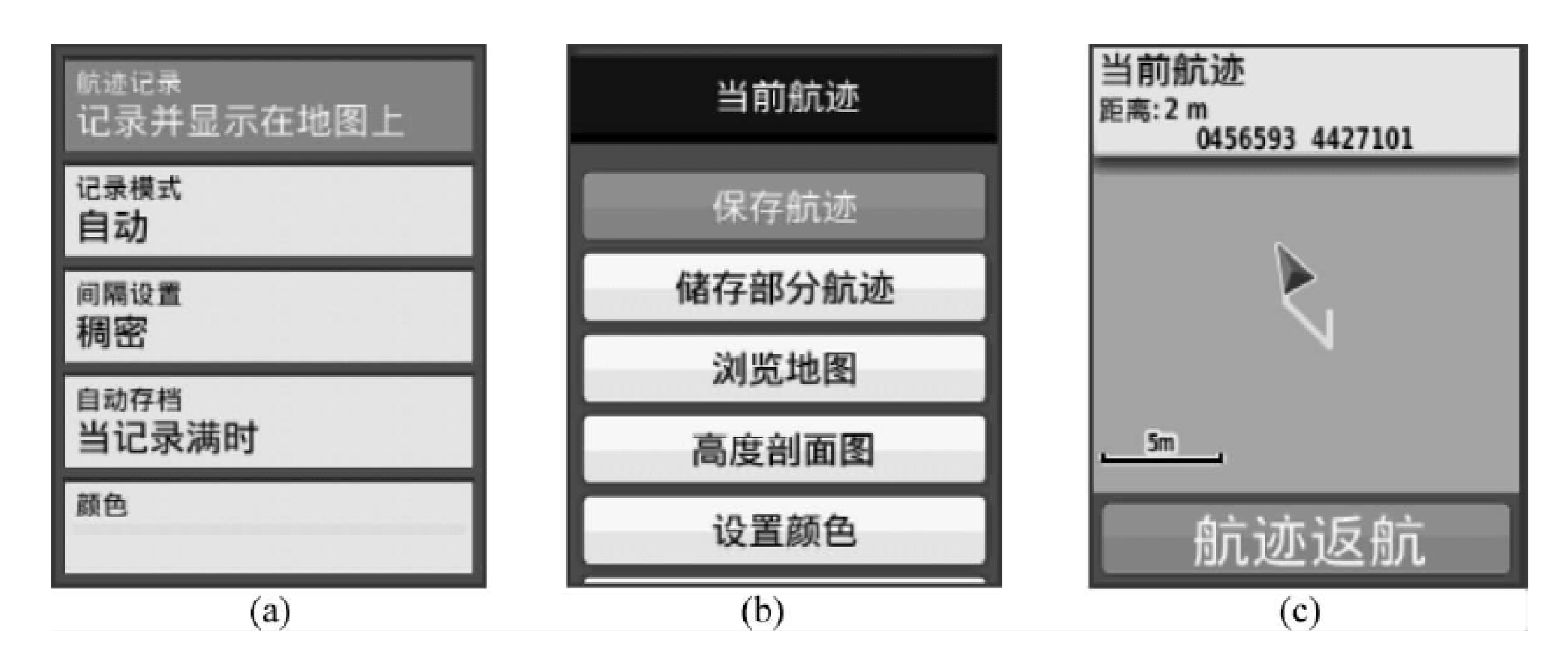


图 1-11　(a) 航迹参数设置；(b) 当前航迹操作；(c) 地图浏览[6]

4) 数据导出

Garmin 公司提供了一个免费的软件 BaseCamp®，用于将 eTrex20 保存的数据导出到计算机上进行管理。其界面如图 1-12 所示。

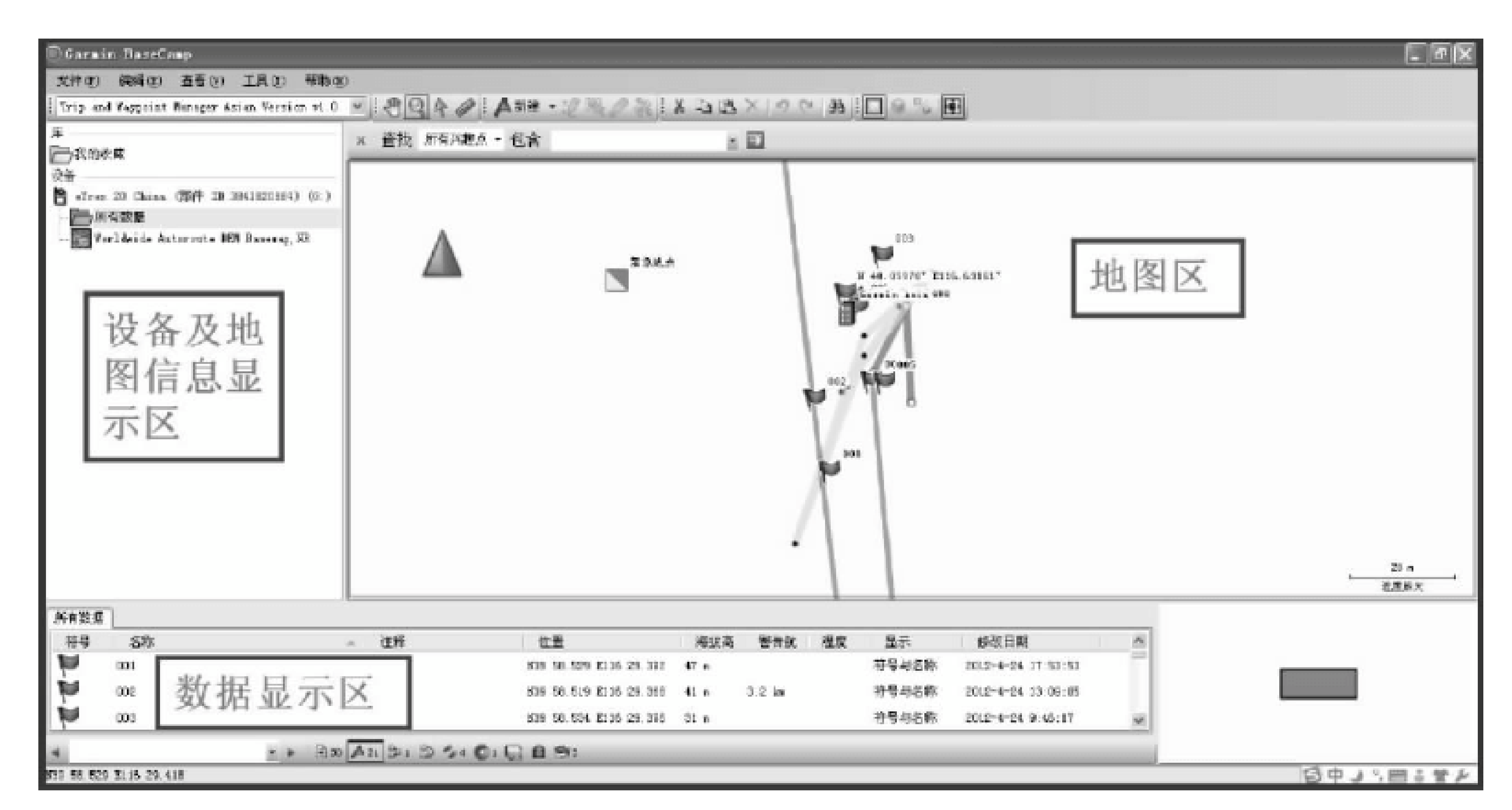


图 1-12　BaseCamp® 标准界面[8]

通过数据线连接 eTrex20 和计算机，打开 BaseCamp® 软件，则 eTrex20 上保存的信息会自动显示在软件下方的数据显示区内，选择某一数据后，会在地图区显示该数据，双击某一数据可进行编辑。选择菜单"文件|导出"，可以将选定的数据或者全部数据导出。导出格式有两种：gdb 格式和 gpx 格式，其中 gpx 格式为通用的数据交换格式，可以在 ArcGIS 中直接导入，因此建议导出为 gpx 格式。

本实验提示 11：可以在如下网址下载 BaseCamp® 软件。

http://www.garmin.com.cn/products/application/basecamp/

4. 户外实地开展要素非空间属性采集

采集 GPS 数据的同时，根据应急空间数据库的信息表，采集非空间属性数据。以实验步骤 1 中制定的兴趣点信息表为例，每个兴趣点都有相应的负责人及负责人办公电话等非空间属性，比如清华园区内的兴趣点对应的负责人为清华院办和大学城保卫科，当某个兴趣点出现异常情况(比如消火栓损坏)时，根据该信息表能够直接获得清华院办与大学城保卫科的联系方式，及时上报和处理异常情况。

5. 内业检查数据采集质量

根据上述采集的空间属性数据与非空间属性数据，整理完成深圳大学城清华园区应急空间数据库。针对非空间属性数据，可以通过设置数据库校验规则进行基本的校验。

利用 BaseCamp® 软件将空间数据导入计算机的过程中，可以在 BaseCamp® 自带的简易地图上检查空间数据的相对位置关系是否符合预期，更细致的检查还需要结合遥感图像进行，这将在下一个实验中介绍。

六、拓展练习

1. 确定应急空间数据库的要素目录

(1) 参照深圳大学城清华园区应急空间数据库以及《广东省应急平台体系数据库规范 基础信息》，为某一目标区域建立应急空间数据库。注意要以扩展字段的方式来定义所需的要素表格，而不是修改已有标准规范的既定内容。

(2) 确定每个条目的数据类型，确定所有数字型条目的数据精度，为每个"答案可穷举"的条目建立规范的备选项。

2. 分析规划采集任务

利用 GNSS Planning Online 程序，针对所采集区域的实际情况，合理规划数据采集任务。

3. 利用 GPS 接收机完成采集任务

基于确定的应急空间数据库，通过 GPS 接收机完成区域内要素的实地坐标采集以及要素的属性信息采集，并在数据库文件中完成所有采集数据的要素编辑、处理、存储等工作。

实验二　应急空间专题图基本操作

一、实验目的

1. 熟悉 ArcGIS 平台下的 ArcCatalog 和 ArcMap 应用程序。
2. 了解地理数据库的结构与常用操作。
3. 了解栅格数据、矢量数据的基本概念和常用操作。
4. 了解坐标系统、地图投影等概念。
5. 掌握对地图的创建、编辑、布局、导出等功能的完整操作流程。
6. 学习 GPS 技术与 GIS 技术的集成应用。

二、实验内容

1. 在 ArcGIS 中创建地理数据库,并在地理数据库中加载栅格数据,创建包含点、线、面等矢量数据的要素类或要素数据集。

2. 在 ArcMap 中进行完整的地图创建、编辑、布局、导出过程。

3. 将深圳大学城清华园区应急空间数据导入 ArcGIS 地理数据库,并在 ArcMap 中进行应急管理专题图制图和可视化操作。

4. 利用深圳大学城清华园区应急空间数据库中的坐标数据进行空间校正和地理配准操作,理解 GPS 技术在更新与维护 GIS 数据库上的作用。

5. 练习使用 ArcCatalog 组织管理地理数据库。

三、输入输出

1. 输入数据

(1) 深圳大学城清华园区栅格地图;

文件名:"Tsinghua_sz_WGS84.jpg",数据来源:Google™ Earth;

(2) 深圳大学城清华园区应急空间数据库(含部分数据);

(3) 实验练习 1 拓展练习中创建的应急空间数据库。

2. 拓展练习输出数据

(1) 具有完整地图元素的地图文件;

(2) ArcGIS 地理数据库,包含实验内容要求的地理信息;

(3) ArcMap 地图工程文件,包含实验内容要求的地理信息。

所有命名遵循以下格式:练习 2_制图者姓名。

四、预备知识

1. 地理空间与地图投影

地球是一个表面形态非常复杂的近似椭球体,为了科学研究和直观表述,选取一个与地球表面非常接近的规则曲面来代替这种复杂不规则的曲面,称为大地水准面[9]。大地水准面是假设地球上的海水完全处于静止状态时,从海平面延伸到所有大陆内部,与地球重力方向处处正交的一个连续、闭合的水准面。地面点到大地水准面的高程,称为绝对高程。我国高程的起算面是黄海平均水平面,常用的高程基准包括 1985 国家高程基准、1956 黄海高程基准、珠江高程基准等。

在此基础上,选择一个椭球体来表达旋转的地球,这个地球椭球体的表面可以通过数学模型定义和表达,也称地球数学表面。由于采用不同的测量技术和推算方法,椭球体的参数如扁率、长半轴、短半轴是不同的,例如目前我国常采用的 GRS(1980)椭球参数,也是 GPS 系统所用的 WGS84 椭球参数。

选择了相应的参考椭球,确定坐标原点与坐标轴方向,并确定其与大地水准面的相关关系,就确定了一个坐标系统。描述地球上静止不动的点,可以用空间直角坐标系统或者大地坐标系统来表示。在空间直角坐标系统中,点坐标由(x,y,z)表示;在大地坐标系统中,点坐标由经纬度和高程来描述。GPS 系统所用的 WGS84 坐标系统就是一种大地坐标系统。除 WGS84 外,我国常用的坐标系统还有 2000 国家大地坐标系、1980 西安坐标系、1954 北京坐标系等。

由于地球椭球体表面是曲面,而地图通常要绘制在平面图纸上,因此制图时首先要把曲面展为平面,这就是地图投影[9]。在地图学中,地图投影就是指建立地球表面上的点与投影平面上点之间的一一对应关系。地图投影的基本问题就是利用一定的数学法则把地球表面用经纬度表示的位置转换到平面上。将曲面直接展为平面时,不可能不发生破裂或褶皱。若用这种具有破裂或褶皱的平面绘制地图,显然是不可用的,所以必须采用特殊的方法将曲面展开,使其成为没有破裂或褶皱的平面,这就涉及多种投影方法。

地图投影最初建立在透视几何原理上,它是把椭球面直接透视到平面上,或透视到可展开的曲面上,如圆柱面和圆锥面。按照构成方法,可以把地图投影分为几何投影和非几何投影两大类。其中几何投影又根据几何形状分为圆柱投影、圆锥投影、方位投影等,如图 2-1 所示。

为了保持投影地图的完整和连续,不可避免的地面事物会发生长度、面积或角度的一种或几种变形,按变形性质地图投影又可以分为三类:等角投影(角度变形为零)、等积投影(面积变形为零)和任意投影(长度、面积和角度都有变形)。

高斯-克吕格投影是一种常用的地图投影,又称为横轴墨卡托投影,是一种等角横切圆柱投影,如图 2-2 所示。圆柱体与赤道平行,圆柱的中心轴通过椭球中心而与地轴垂直,椭球体与圆柱投影面相切于一条经线上,该经线为中央经线。除了中央经线和赤道外,其余经线均为对称于中央经线的曲线,中央经线无变形,而自中央经线向投影带边缘方向,变形逐渐增加。为了克服这种缺点,采用分带投影的方法,按照一定的经差将地球

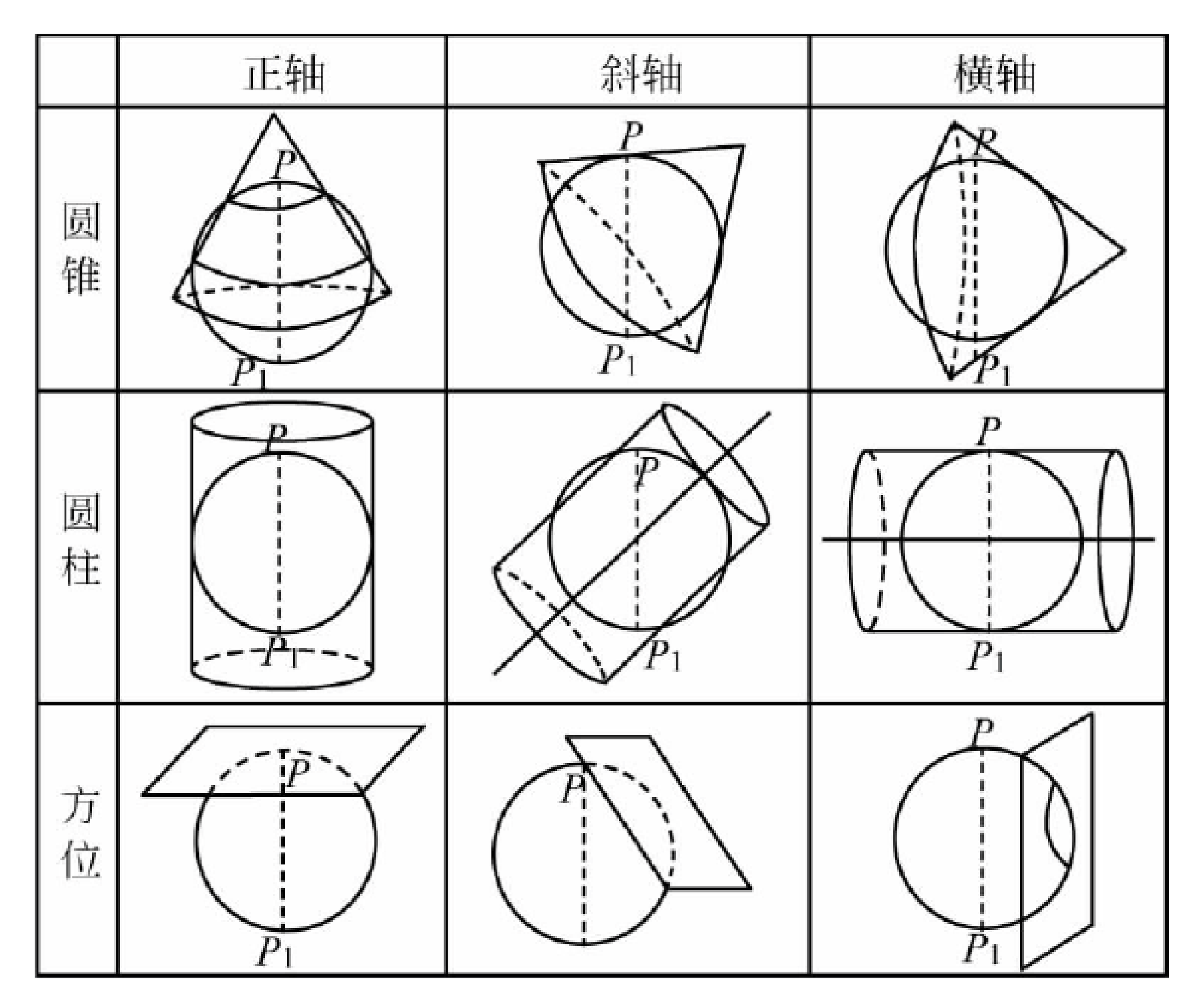


图 2-1　各种几何投影方法

椭球面分为若干个投影带，每个投影带中线都没有变形，从而有效的限制长度变形。分带既要控制长度变形，又要使带数不至于过多，通常按经差 6°和 3°分为六度带和三度带。

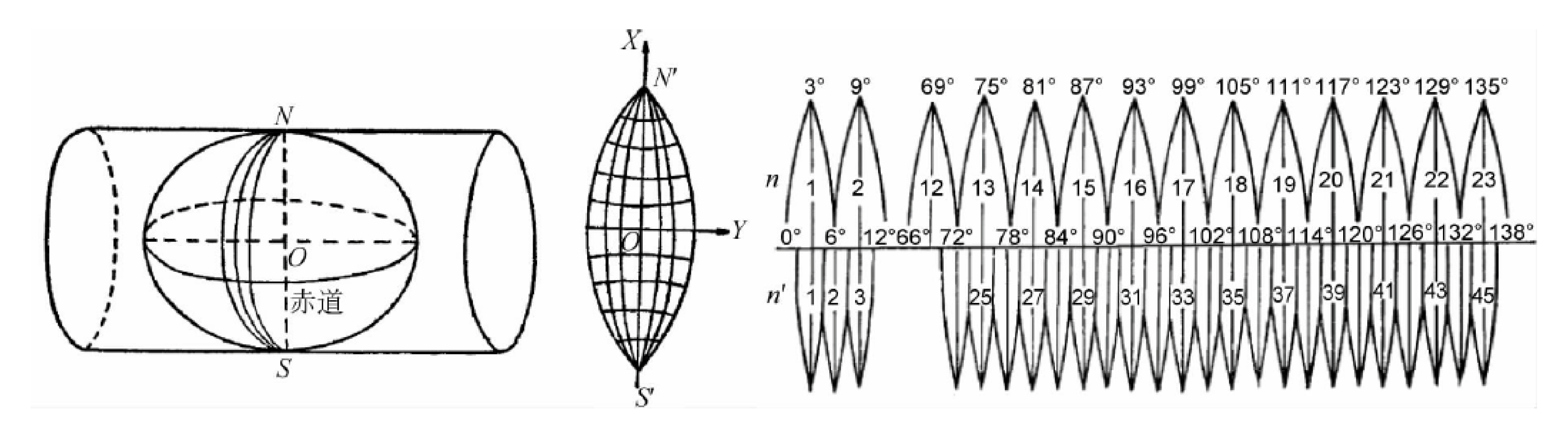


图 2-2　高斯-克吕格投影

我国国家基本比例尺地形图有七种：1∶100 万、1∶50 万、1∶25 万、1∶10 万、1∶5 万、1∶2.5 万和 1∶1 万。除了最小比例尺 1∶100 万采用正轴等角圆锥投影，其他基本全部采用高斯-克吕格投影。小于等于 1∶2.5 万的采用 6°分带，其余的用 3°分带。

2. ArcMap 快速浏览

ArcGIS for Desktop 包含 ArcMap、ArcGlobe、ArcScreen 三种可实现制图和可视化的应用程序，其中 ArcMap 用于所有二维制图和可视化操作，另外两种用于三维可视化操作。

在 ArcMap 中可以创建和编辑地理数据库，可以显示和浏览研究区域的地理数据集，可以用特定的符号制图，可以创建用于打印和发布的地图布局。ArcMap 界面如图 2-3 所示。

本实验提示 1：如果显示的窗口不完整，请单击“窗口(Windows)”菜单，打开相应的窗口。

在 ArcMap 的数据框中，地理数据是以图层的形式来显示的，不同类型的地理数据存储在不同的图层中，比如道路(线要素类)存储在一个图层中，建筑物(面要素类)存储在第



图 2-3　ArcMap 视图

二个图层中，栅格底图存储在第三个图层中，同一类型的地理数据也可以存储在不同的图层中，比如建筑物中办公楼存储在一个图层中，运动馆存储在第二个图层中，等等。

内容列表列出了地图上所有图层的名称，并显示该图层中各符号所代表的内容。内容列表可以选择多种显示方式，比如按照图层顺序显示、按照数据源显示等。通过内容列表可以很方便地调整图层显示顺序和设置图层的显示属性。对于给定的地图范围和地图投影，数据框按内容列表的顺序绘制一系列图层。可以通过视图切换按钮将数据框视图切换到布局视图，通过在布局视图中组织比例尺、指北针、图例等地图元素，编辑完整的、可用于发布的地图。目录窗口提供了一个包含文件夹和地理数据库的树状视图，用于组织和管理各种类型的地理数据，关于地理数据库的相关操作基本上都在目录窗口完成。

ArcMap 文档也叫地图文档、地图工程文件、mxd 文件等，该文档包含了地图中所有地理信息的显示属性，注意该显示属性不会保存在地理数据库中，因此同一地理数据库中的同一要素类，在不同的地图工程文件中可以使用不同的符号系统。

3. ArcCatalog 快速浏览

目录窗口可以通过 ArcCatalog 应用程序独立打开。可在 ArcCatalog 中组织和管理的信息类型包括地理数据库、栅格文件、地图文档、地理处理工具箱、模型、Python 脚本、使用 ArcGIS for Server 发布的 GIS 服务、GIS 信息项基于标准的元数据，以及其他信息类型等。ArcGIS 将这些内容组织到树状视图中，用户可以使用树状视图来组织、搜索、查看、管理信息项。ArcCatalog 界面如图 2-4 所示。

目录树可帮助用户组织和管理文件夹和地理数据库，还可以与 GIS 服务器、共享地理数据库和其他服务建立连接。在目录树中选中一项信息项，内容面板将列出该信息项包含的内容，比如选中数据集后，内容面板将列出该数据集所包含的要素类。

预览面板将显示该信息项的相关信息，可以选择预览地理视图、属性表或项目描述；而描述面板显示该信息项的标准化的元数据，可以对这些元数据执行创建、编辑、查看、导出等操作。

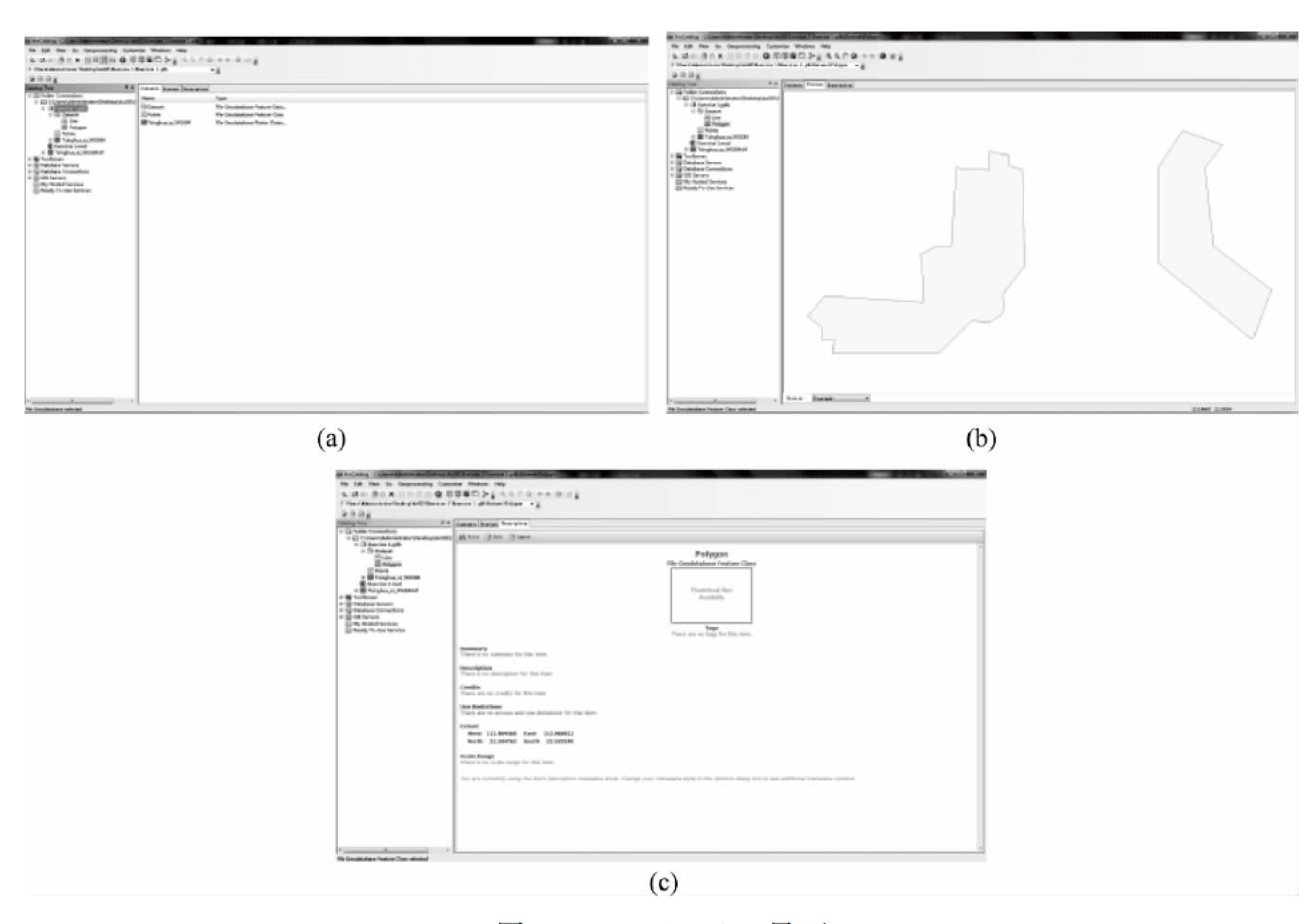


图 2-4　ArcCatalog 界面

（a）内容面板；（b）预览面板；（c）描述面板

常用的 ArcCatalog 任务包括建立与地理数据库、GIS 服务和其他信息的连接；在内容和预览选项卡上查看信息项的属性和内容；管理文件夹和地理数据库；使用地图，比如复制、重命名地图，设置地图数据源，共享地图服务等；记录信息项并使用元数据；使用 ArcToolBox 进行地理信息数据分析处理；管理相关的地理数据分析服务等。

4. 地理配准与空间校正

一般栅格数据是通过扫描地图或者遥感影像获得的，扫描地图不包含空间参考信息，而遥感影像由于受到遥感平台和外界环境的影响，会产生平移、旋转、缩放、变形等畸变[10]，如图 2-5 所示。为了让栅格数据和其他现有数据能够结合使用，需要将栅格数据进行几何校正，或者将没有空间参考信息的栅格数据配准到某个地图坐标系中去。在 ArcMap 中，通过执行地理配准操作来实现栅格数据的几何校正和配准。



图 2-5　栅格数据与现有数据的偏差

另一方面，矢量数据可以通过 GPS 接收机实地采集，也可以通过数字化仪、扫描矢量化或屏幕数字化等设备将地图矢量化，由于数据来源众多，当数据之间的空间位置出现不一致时，就需要对数据进行校正，如图 2-6 所示。在 ArcMap 中，可以通过执行空间校正操作来实现矢量数据的几何校正和对齐。

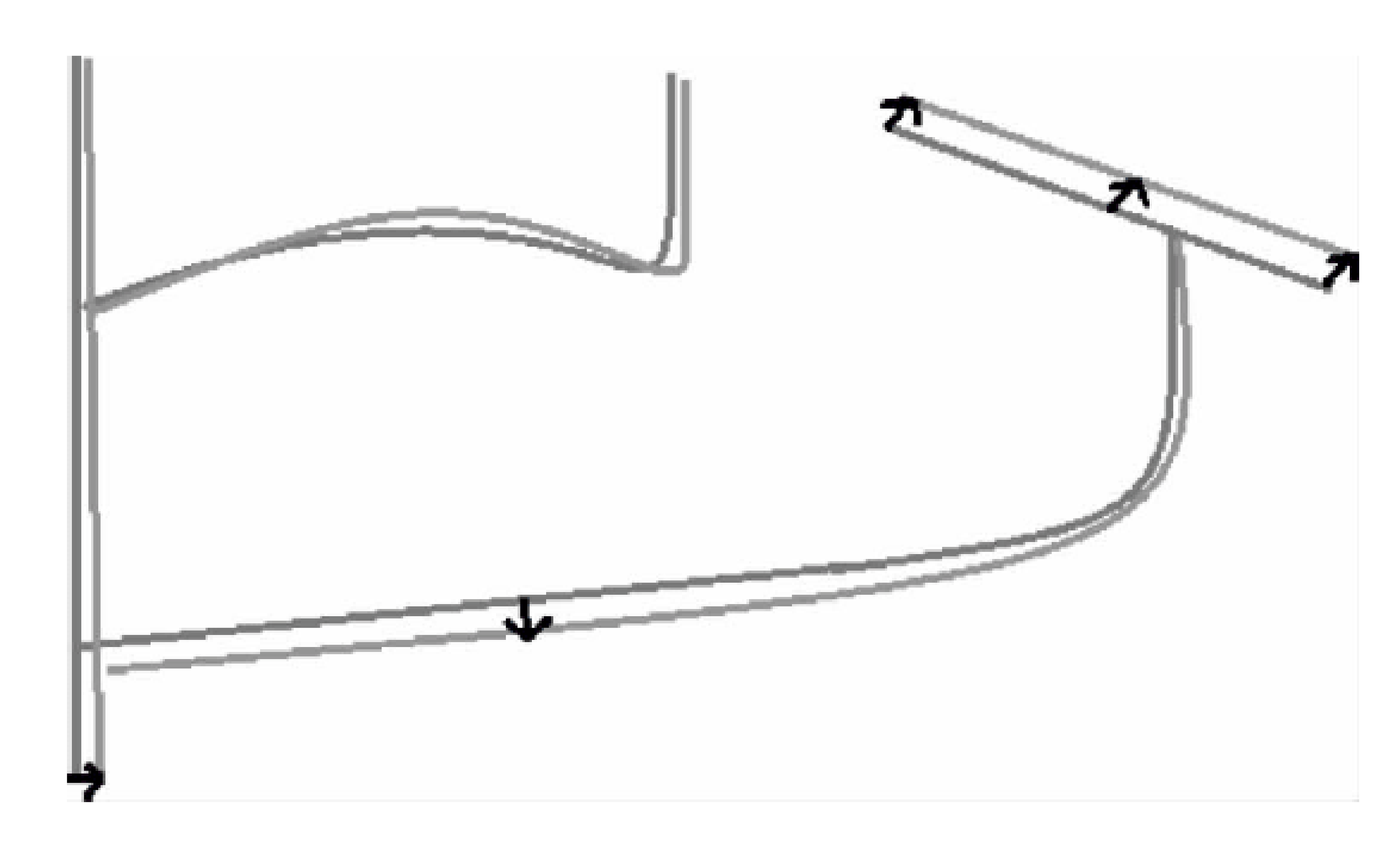


图 2-6　多源矢量数据不一致现象

五、实验步骤

1. 练习基本的制图操作

1）创建文件地理数据库

（1）打开 ArcMap 应用程序，选择新建空白工程文件，打开目录窗口。关于 ArcMap 介绍参见上文预备知识。

（2）连接工程文件夹

右键单击“目录窗口（Catalog）| 文件夹连接（Folder Connections）| 连接文件夹（Connect to Folder...）”，选择该地图工程文件的存储路径（见图 2-7）。在本实验中，地图工程文件与对应的地理数据库及相关数据文件均保存在同一文件夹中，本教材中该文件夹命名为“Exercise 1”。保存当前地图工程文件到 Exercise 1 文件夹中，命名为“Exercise 1.mxd”。

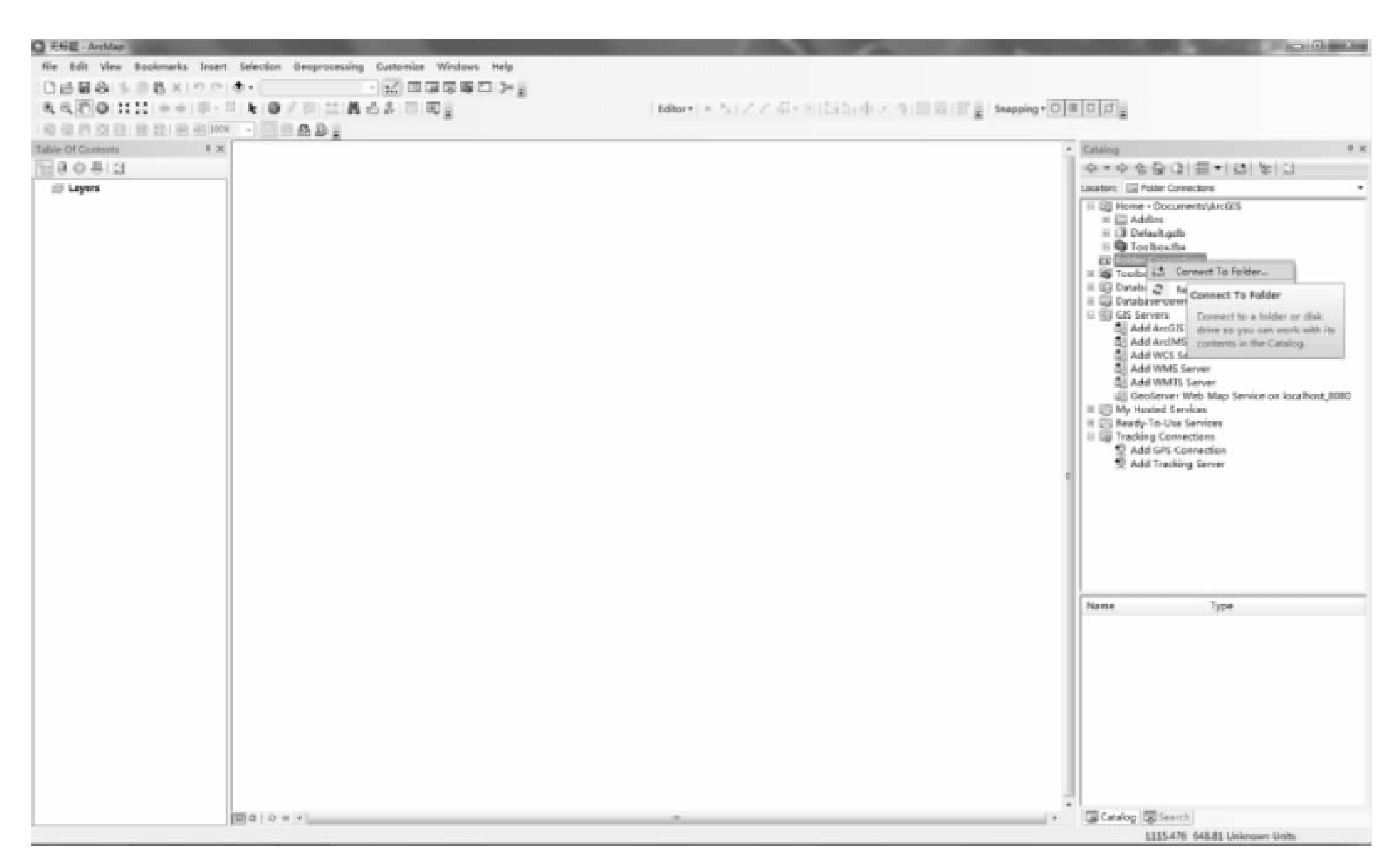


图 2-7　连接工程文件夹

本实验提示 2：在 ArcGIS 各个应用程序中，鼠标在任意按钮、菜单或选项上稍作停留，均会显示该项的说明文字。

本实验提示 3：ArcMap 中的地图工程文件(mxd 文件)默认存储成绝对路径，如果希望转移工程文件到其他计算机上后仍能正确打开，请将 mxd 文件的文档属性(菜单“文件(File)|地图文档属性(Map Document Properties)”)设置为“存储数据源的相对路径(Store relative pathnames to data sources)”。

(3) 创建地理数据库

在目录窗口(见图 2-8)右键单击 Exercise 1 文件夹，选中“新建(New)|文件地理数据库(File Geodatabase)”，单击 Exercise 1 文件夹前面的“＋”，展开后可以看到一个 gdb 文件，这就是 ArcGIS 中的地理数据库——Geodatabase，右键单击该数据库文件，选择重命名为“Exercise 1. gdb”。

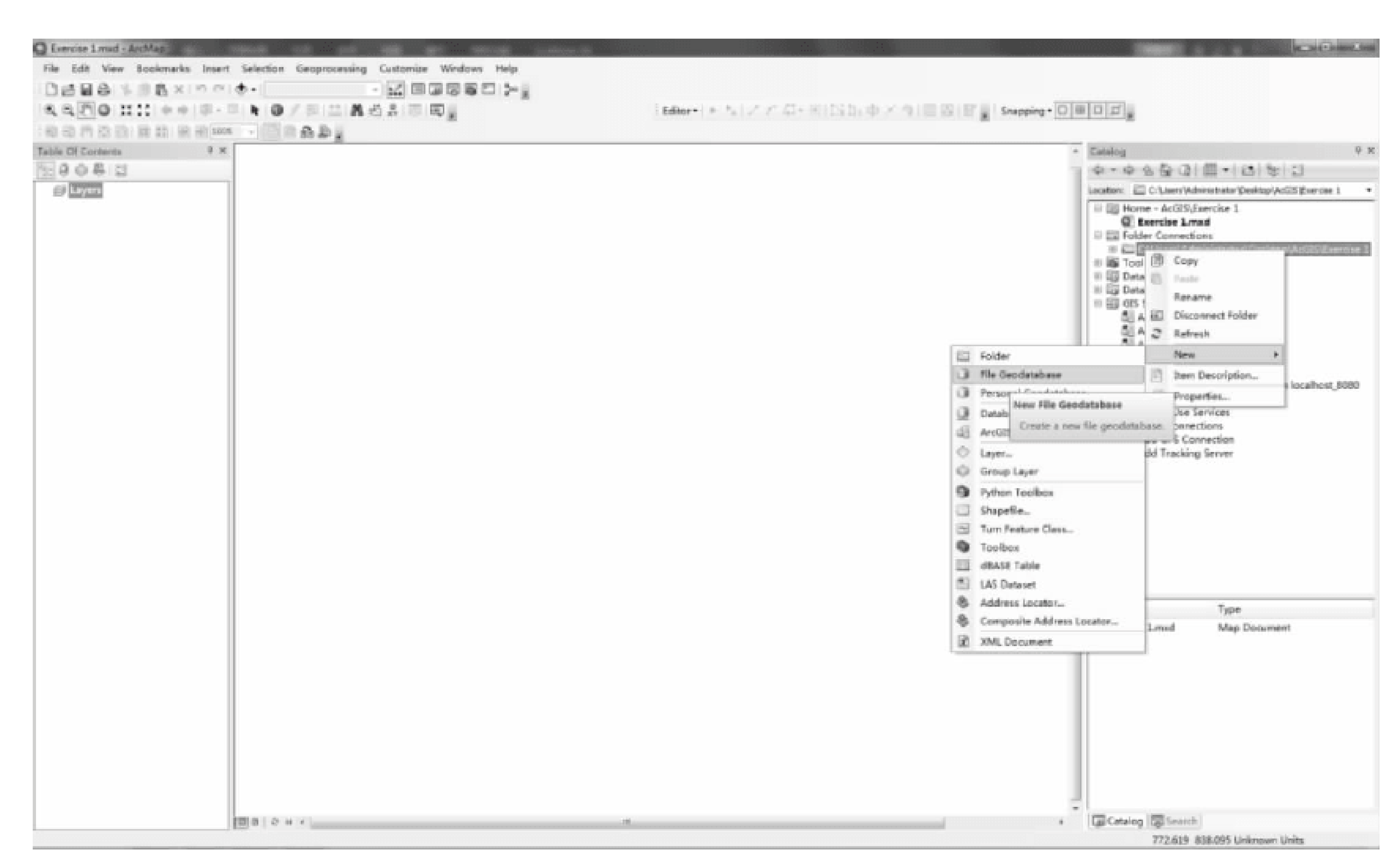


图 2-8 新建文件地理数据库

本实验提示 4：ArcGIS 的 Geodatabase 分为三种类型，分别是文件地理数据库、个人地理数据库和 ArcSDE 地理数据库。其中文件地理数据库使用最为广泛，数据集以包含若干文件的文件夹形式存储在计算机上，每个数据集文件可达 1TB，文件地理数据库可跨平台使用，也可进行压缩和加密。个人地理数据库以 Microsoft Access. mdb 文件的形式存储数据集，整个个人地理数据库的存储大小为 250～500MB，并且只能在 Windows 平台上使用。而 ArcSDE 地理数据库也叫多用户地理数据库，可以将数据集存储在多种数据库管理系统(DBMS)中，如果想在地理数据库中使用历史归档、复制数据、使用 SQL 访问简单数据或在不锁定情况下同时编辑数据，则需要使用 ArcSDE 地理数据库。

本实验提示 5：在 ArcMap 中，右键集合了多种快捷方式。

(4) 创建要素类或要素数据集

在目录窗口右键单击 Exercise 1. gdb，指向“新建(New)|新建要素类(New Feature Class)”，打开新建要素类引导窗口，如图 2-9 所示，根据引导提示完成创建独立要素类的过程。以创建点要素类为例，填写要素类名称“Points”(可任意填写)，选中要素类型为

“点要素(Points Features)”,根据要素的坐标属性是否有线性参考 M 或者高程信息决定是否要勾选相应的地理属性(Geometry Properties)。

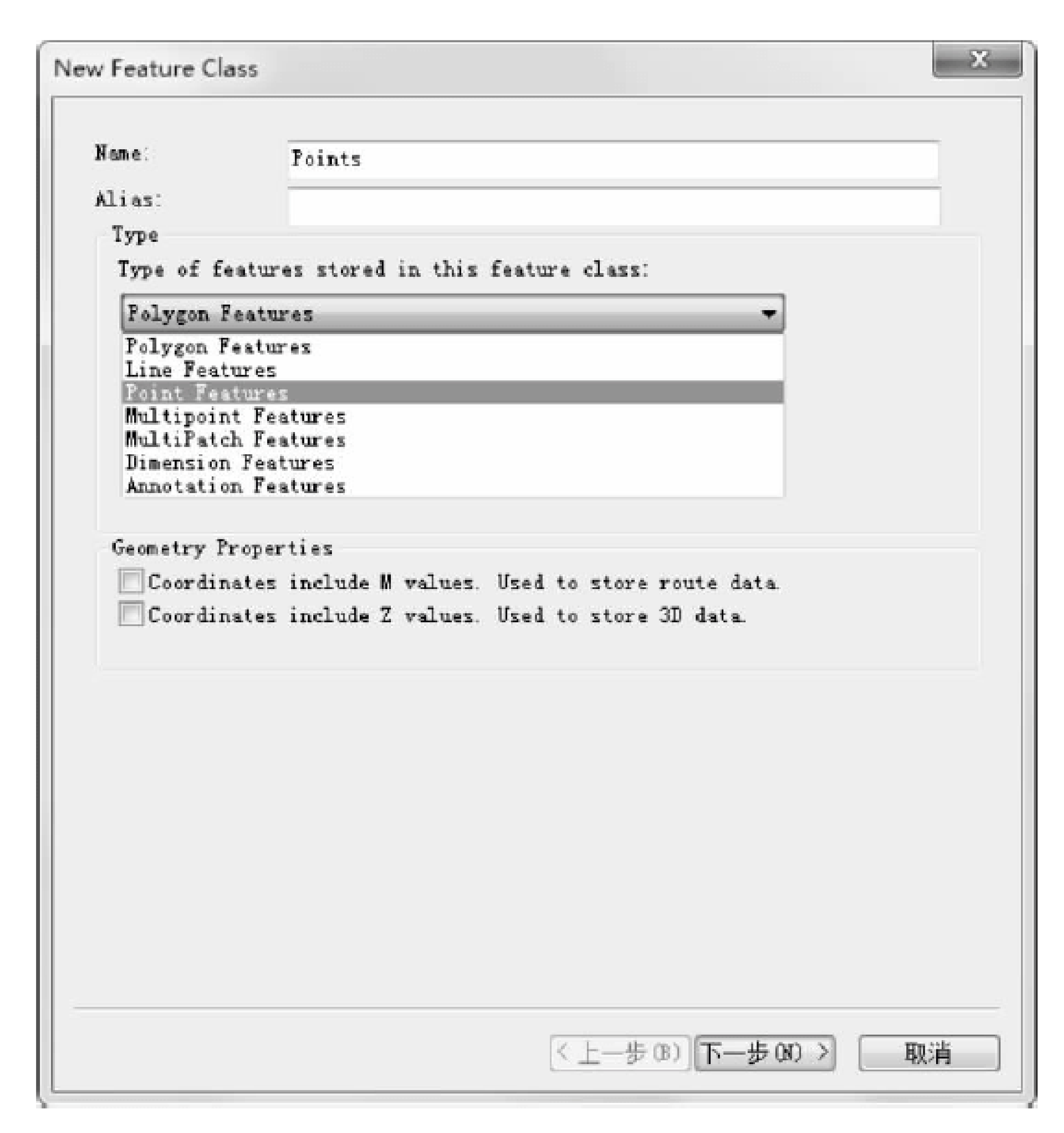


图 2-9　新建要素类引导窗口

单击下一步,选择要用的坐标系,有地理坐标系和投影坐标系两种,地理坐标系使用经纬度来定义一个点,投影坐标系使用(X,Y)坐标来定义一个点(见图 2-10)。常用的地理坐标系有使用 WGS 1984 旋转椭球体的世界坐标系 1984,位于“地理坐标系(Geographic Coordinates Systems)|世界坐标系(World)|WGS 1984”;我国范围内常用的投影坐标系为高斯-克吕格投影下的北京 1954,位于“投影坐标系(Projected Coordinate Systems)|高斯-克吕格(Gauss Kruger)|北京 1954(Beijing 1954)”。由于实验练习 1 中采用的 GPS 接收机采集的数据是基于 WGS1984 坐标系的,因此此处选择地理坐标系 WGS 1984。

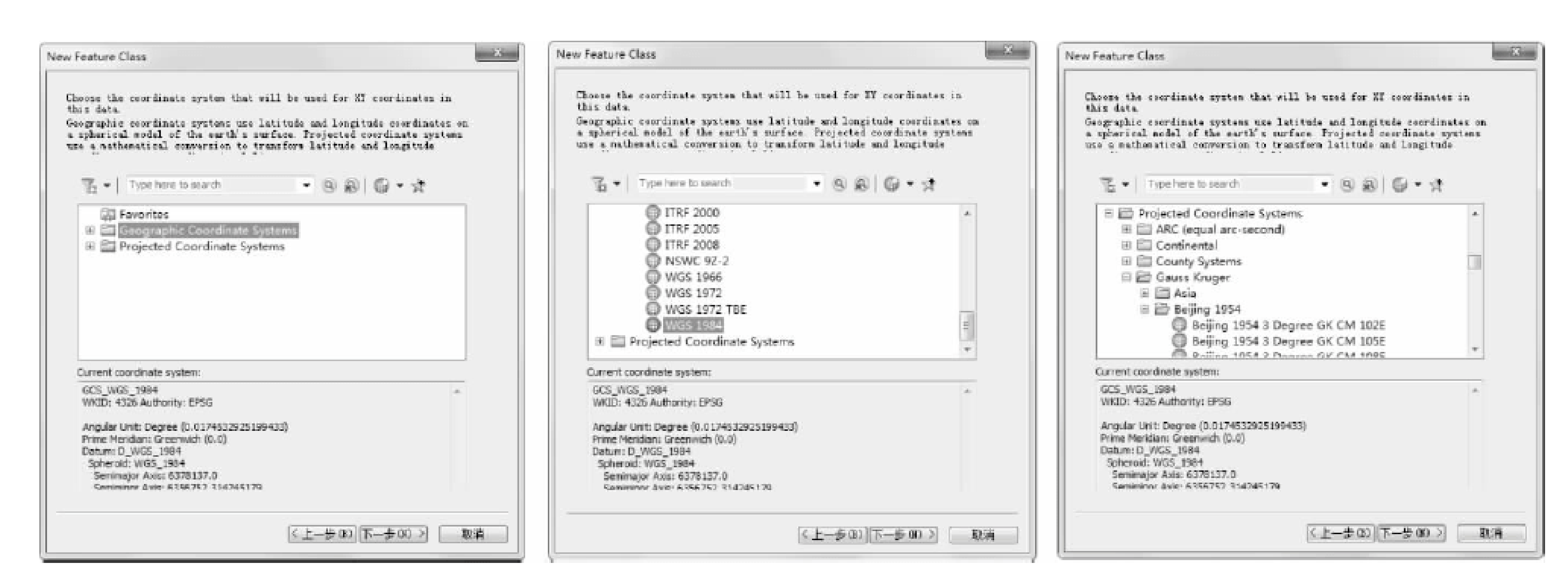


图 2-10　坐标系统

单击下一步,之后是空间参考参数,比如空间分辨率、处理容差等,可以使用默认参数,在最后一页中填写必要的字段属性,比如“名称、X 坐标、Y 坐标”等,并设置数据类型,如图 2-11 所示。完成后即可在目录窗口 Exercise 1. gdb 下看到 Points 点要素类。

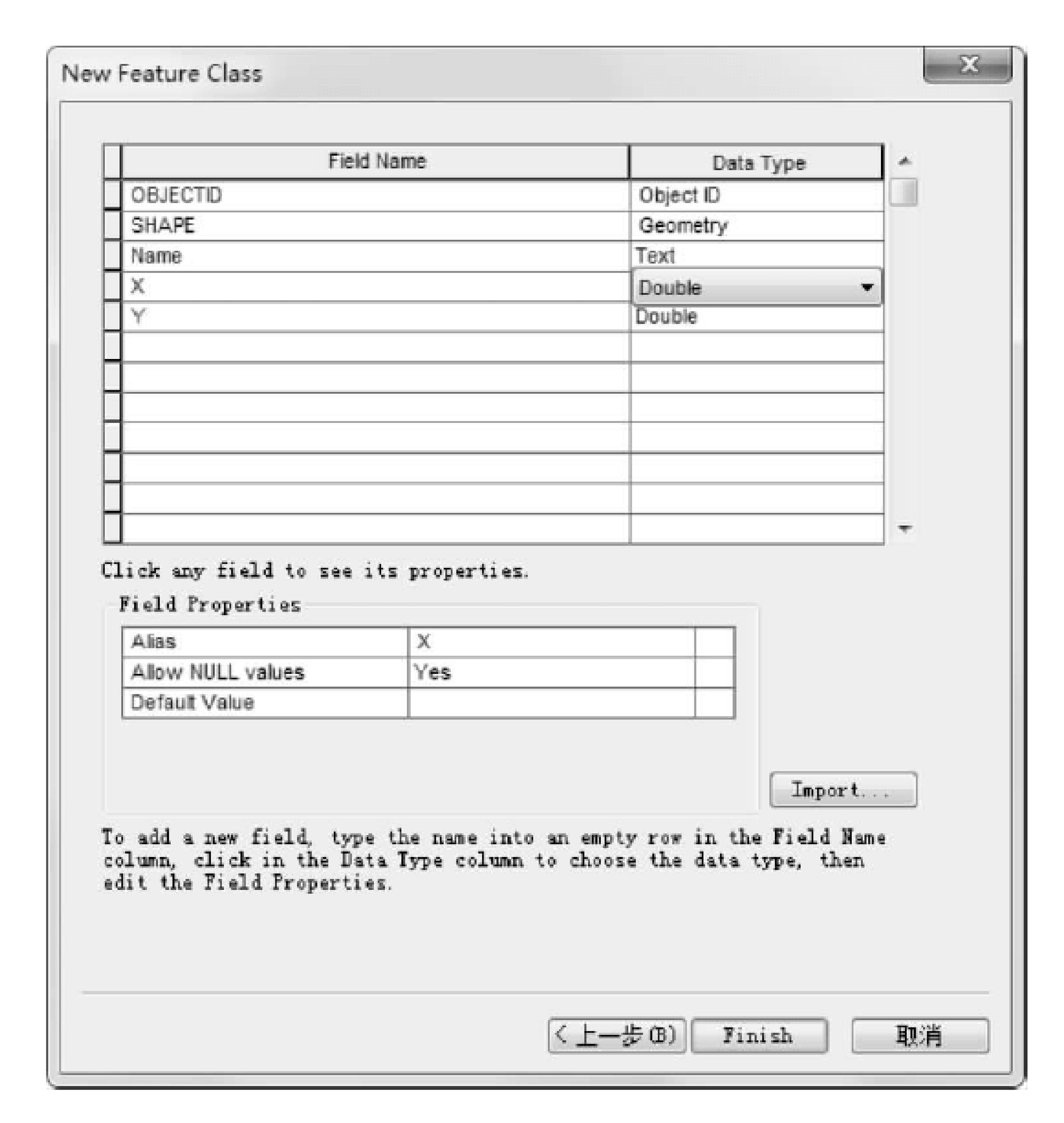


图 2-11　设置必要的属性字段名称与数据类型

类似地，在 Exercise 1. gdb 中创建要素数据集(Feature Dataset)，并在该数据集下创建线、面两种要素类，使用合理的坐标系，设置一定的属性值，比如线要素类可以有"名称、长度"属性，面要素类可以有"名称、周长、面积、质心 X、质心 Y"属性等。过程与上述创建点要素类相似，此处不再复述。可以看到在地理数据库创建要素类的同时，该要素类也被加载到了地图工程文件中，内容列表按顺序列出了图层的名称。

本实验提示 6：要素类是具有相同几何类型(点、线、面)和相同属性字段的地理要素的集合，要素数据集是共用一个通用坐标系的相关要素类的集合，可见一个要素数据集可以包含若干个要素类，但反过来，要素类也可以独立存在于地理数据库中。对于专题地理数据库，常按主题整合相关要素类，比如将需要重点防护的水库(面要素类)、输油管线(线要素类)等整合成一个"重点防护目标"要素数据集。

(5) 在数据库中加载栅格地图"Tsinghua_sz_WGS84. jpg"

在目录窗口右键单击 Exercise 1. gdb，选择"导入(Import) | 栅格数据集(Raster Datasets)"，将 Tsinghua_sz_WGS84. jpg 文件加载到 Exercise 1. gdb 地理数据库中。加载后地理数据库结构如图 2-12 所示。



图 2-12　Exercise 1 地理数据库结构

本实验提示 7：Tsinghua_sz_WGS84. jpg 文件应该在目录窗口列出的某个文件夹内，比如在 Exercise 1 文件夹内，否则无法加载。

2）制作地图

（1）加载栅格数据

单击地理数据库中的 Tsinghua _sz_WGS84 栅格数据，并将其拖曳至数据框，如图 2-13 所示，内容列表显示了该图层的名称（也是该数据集的名称），以及该图层内各符号代表的含义。右侧目录窗口下方显示了该栅格数据包含三个波段，而左侧内容列表则表明该栅格数据是以 RGB 合成方式绘制的，RGB 三种颜色对应三个波段。



图 2-13　加载栅格数据

本实验提示 8：如果数据框显示空白，在内容列表中右键单击栅格数据图层，选择“缩放至图层（Zoom To Layer）”。

右键单击内容列表中的“Tsinghua _sz _WGS84”，选择“属性（Properties）”，在常规（General）选项卡可以设置该图层在什么比例尺范围内可见；源（Source）选项卡中可以查看该栅格数据的基本信息，比如行列数、像元大小、地理范围、空间参考等；符号（Symbology）选项卡可以设置显示属性（见图 2-14）。

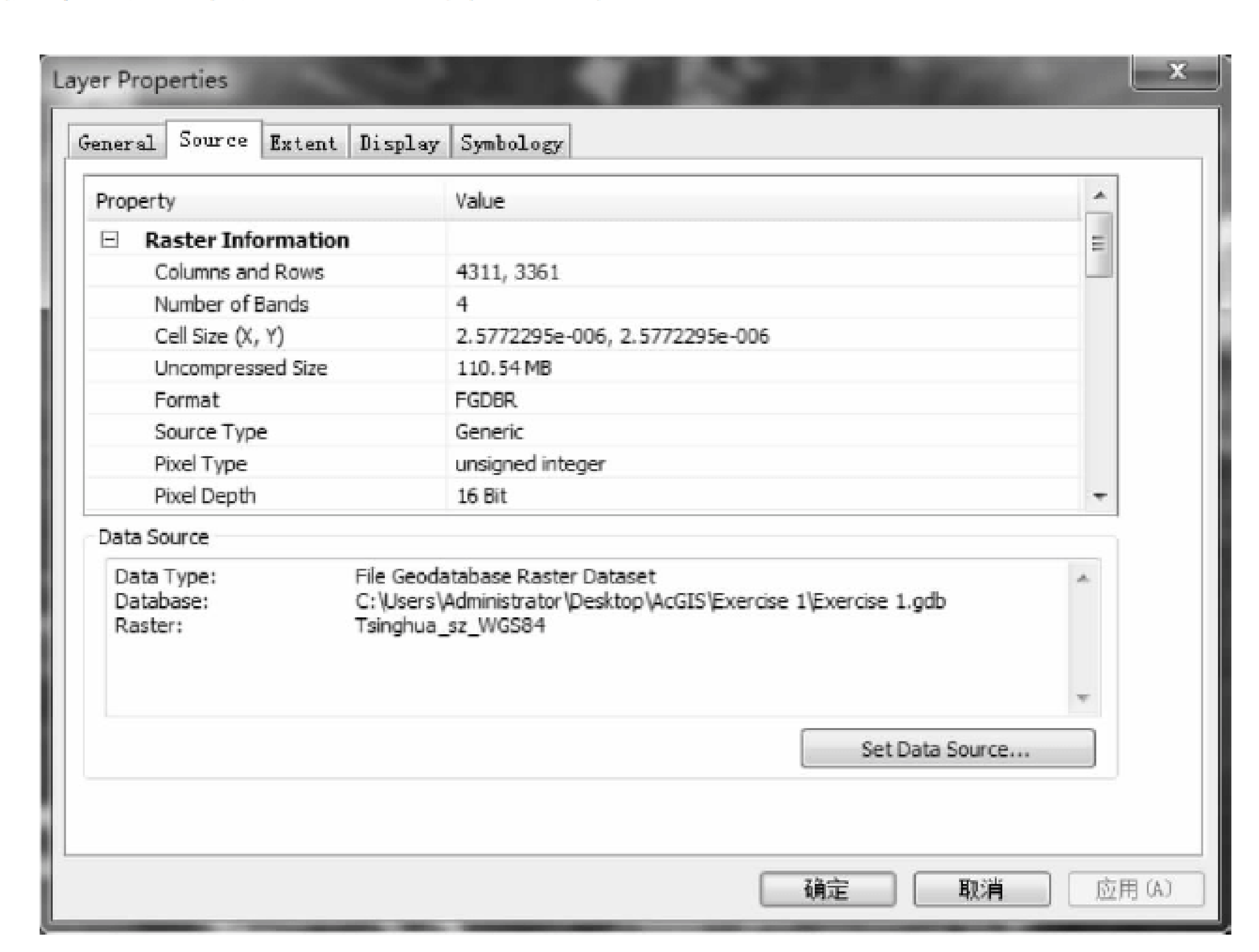


图 2-14　栅格图层属性

在数据框单击右键，选择“数据框属性(Data Frame Prorities)”，单击坐标系统(Coordinate System)选项卡，可以看到此时数据框也使用 WGS 1984 坐标系，这是因为当数据框的坐标系没有预先定义时，它会以第一个添加到数据框的图层的坐标系统作为自己的坐标系统。

(2) 设置数据框投影坐标系

将数据框的坐标系统改为投影坐标系(见图 2-15)。前面介绍过我国范围内常用的投影坐标系为高斯-克吕格投影下的北京 1954。深圳大学城清华园区处于东经 113.96°—113.98°，如果按 6°分带，则处在第 19 号分带也就是中央经线为 111°分带的边缘，如果按 3°分带，则处在第 38 号分带也就是中央经线为东经 114°分带的中间，在“投影坐标系(Projected Coordinate Systems)|高斯-克吕格(Gauss Kruger)|北京 1954(Beijing 1954)”下尝试几种投影坐标系，观察在不同坐标系下显示的地图变形情况，进一步理解地图投影的过程。显然，选择以东经 114°为中央经线的分带能使本实验所用的地图变形最小。

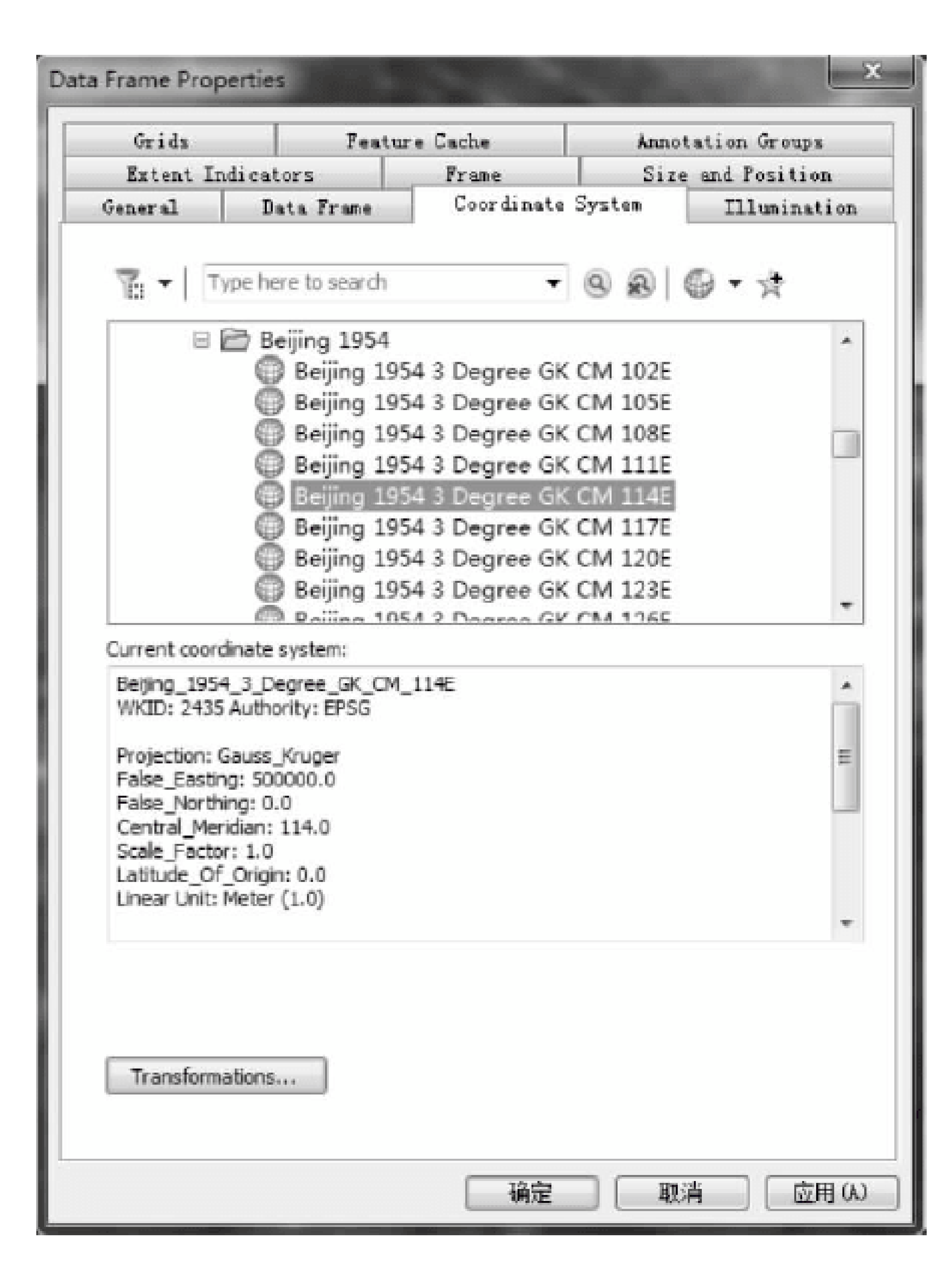


图 2-15　修改数据框的坐标系统

本实验提示 9：每个独立要素类和每个数据集都有自己的坐标系，而 ArcMap 数据框也有独立的坐标系，之间可以投影转换，当加载到数据框的图层坐标系统与数据框自身的坐标系统不一致时，ArcMap 会提示，经用户确认后自动完成坐标系之间的投影过程。

本实验提示 10：在“投影坐标系(Projected Coordinate Systems)|高斯-克吕格(Gauss Kruger)|北京 1954(Beijing 1954)”下有四种命名方式，分别是：

Beijing 1954 3 Degree GK CM 114E

Beijing 1954 3 Degree GK Zone 38

Beijing 1954 GK Zone 19

Beijing 1954 GK Zone 19N

这四种命名方式的含义分别是：

3°带法的北京 54 坐标系，中央经线为 114°的分带，横坐标前不加带号

3°带法的北京 54 坐标系，带号为 38 的分带，横坐标前加带号

6°带法的北京 54 坐标系，带号为 19 的分带，横坐标前加带号

6°带法的北京 54 坐标系，带号为 19 的分带，横坐标前不加带号

(3) 绘制若干点、线、面要素

调整内容列表中各图层的位置，使其排列顺序为点-线-面-栅格，确保在内容列表中勾选所有要编辑的图层。

在菜单栏单击“自定义(Customize)|工具条(Toolbars)”打开工具条列表，选择“编辑器(Editor)”和“捕捉(Snapping)”工具条(见图 2-16)。

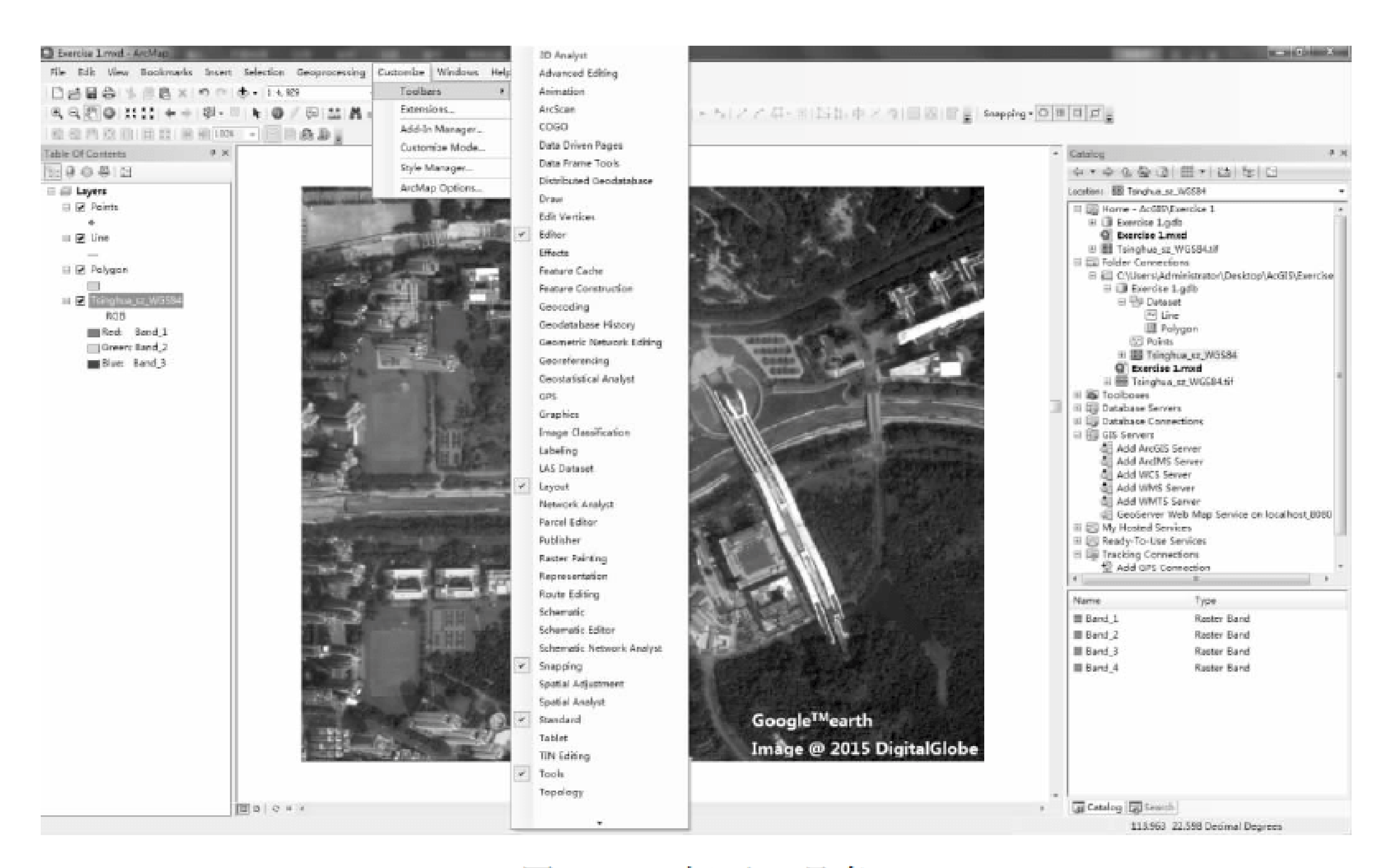


图 2-16　打开工具条

此时编辑器工具条上大部分都是灰色的，单击编辑器工具条上的“编辑器(Editor)”下拉菜单，选择“开始编辑(Start Editing)”，此时会弹出一个警告窗口，如图 2-17 所示，示意要编辑的图层空间参考与数据框的空间参考不相符，这是因为我们地理数据库中的数据均采用

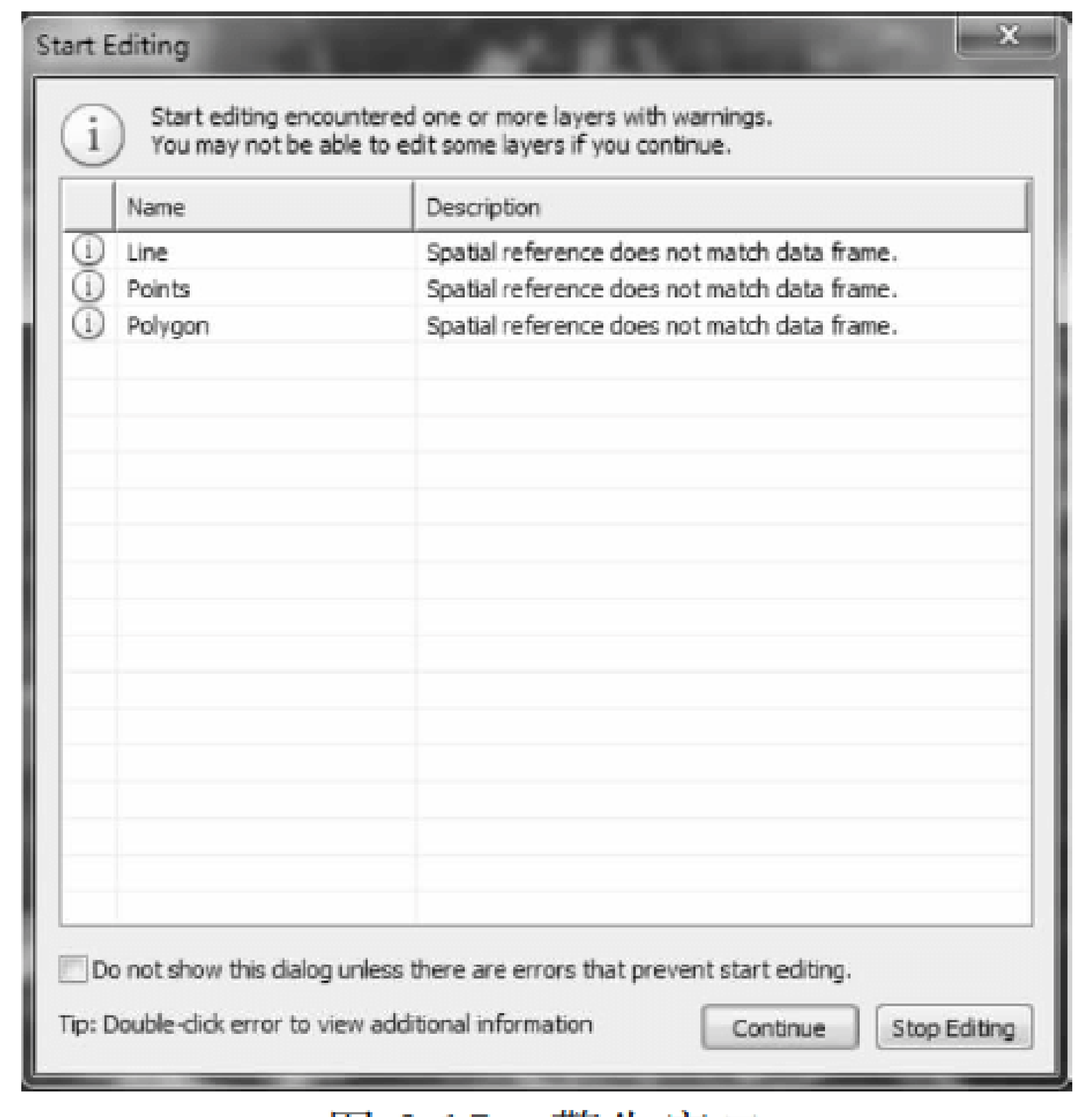


图 2-17　警告窗口

WGS84 坐标系，而数据框采用的是 Beijing 1954 坐标系的缘故，选择“继续(Continue)”。

单击编辑器(Editor)工具条上的“创建要素(Create Features)”工具，打开创建要素窗口，该窗口分为上下两部分，上部分是要创建的要素类型，下部分是选中的要素类型的模板，如图 2-18 所示。以点要素为例，在窗口上部分选择“点要素(Points)”，在窗口下部分选择“点模板(Points)”。



图 2-18　创建要素窗口

此时鼠标变成了斜箭头形式，箭头顶端有一个小圆点，在数据框合适的位置单击鼠标，会在该位置上放置点要素。

以相同的方法绘制线要素和面要素。绘制结果如图 2-19 所示，可以看到点要素和线要素颜色较深，与栅格数据背景对比度太小，不易识别，因此需要进一步编辑。



图 2-19　绘制点、线、面要素

本实验提示 11：使用编辑器工具条上相关的线段工具可以画出多种类型的线段，比如弧线。

本实验提示 12：绘制时可通过鼠标滚轮放大或缩小视图。

本实验提示 13：单击工具栏上的小手图标，可以暂停绘制；绘制线要素和面要素时，双击最后一个点，或者完成后按“F2”键，或者单击右键选择“完成草图(Finish Sketch)”也可以停止绘制。

本实验提示 14：绘制要素时，使用捕捉(Snapping)工具能够方便地捕捉到端点、折点和边，提高位置准确度。

(4) 编辑点、线、面要素

以点要素为例，在内容列表中右键单击点要素图层，选择“打开属性表(Open Attribute Table)”，如图 2-20 所示。可以看到除了系统内置的 ID 和形状属性之外，其余属性数据均为空。单击 Name 属性列相应单元格，填写地图上各个点要素的名称。选中属性表中的某一行，地图上对应的要素也会高亮显示。

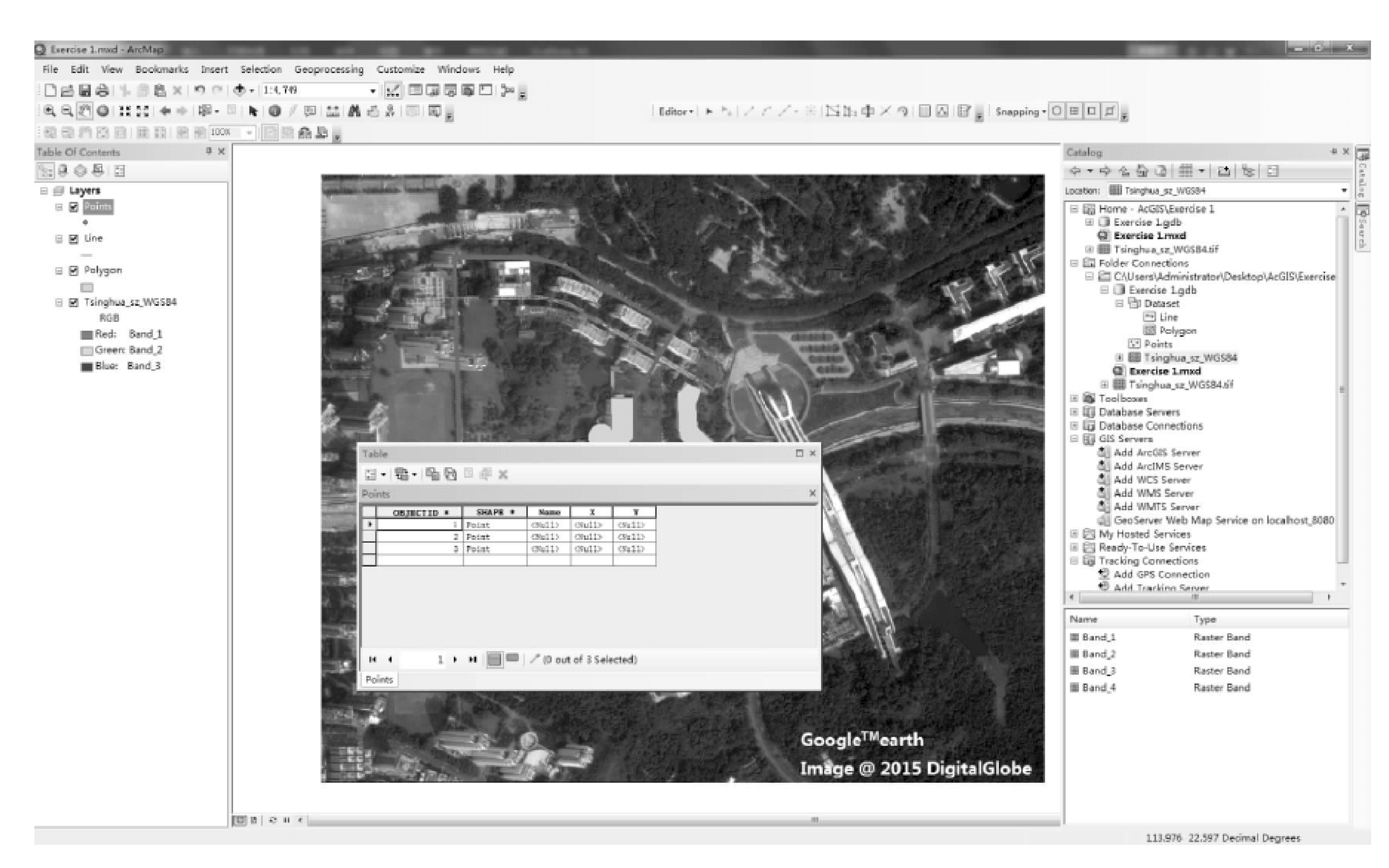


图 2-20　图层属性表

单击 X 属性列，右键选择“计算几何(Calculate Geometry)”，在弹出的对话框中选择计算点的 X 坐标，选用 WGS1984 坐标系，这样算出来的坐标将用经纬度表示，单位选择十进制，如图 2-21 所示。对 Y 属性列执行同样操作，算出每个点要素的经纬度坐标。对线、面要素执行同样的操作，涉及周长、面积等参数时，选用 Beijing1954 坐标系，以米、平方米为单位，将各自的属性表补充完整。

本实验提示 15：执行上述计算几何操作时，如果选中了属性中的某一行，则只会计算该行像素相关的几何参数，此时可以单击工具栏中的“清除所选要素”，如图 2-22 所示，确保相关几何参数计算作用于属性表中的所有要素。

单击编辑器(Editor)工具条上的编辑器(Editor)下拉菜单，选择“停止编辑(Stop Editting)”。

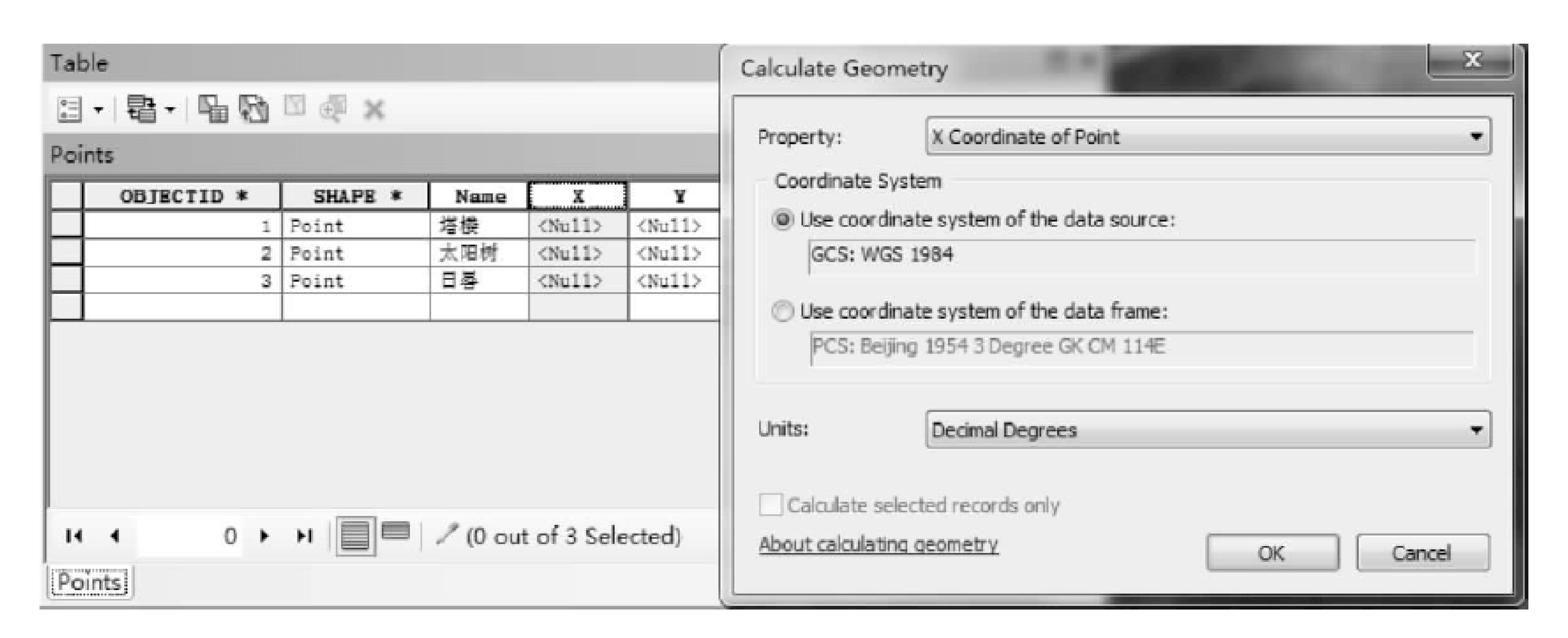


图 2-21　编辑属性

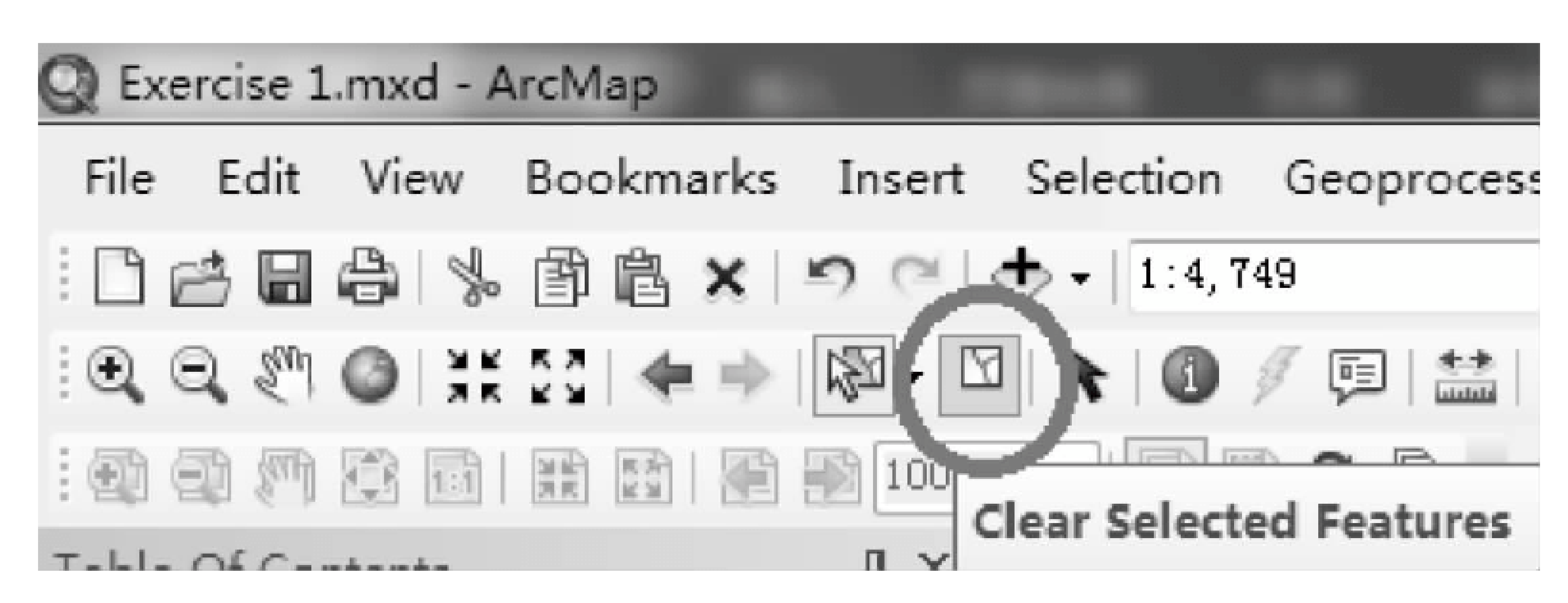


图 2-22　清除所选要素工具

本实验提示 16：只有在编辑状态下，属性表内的数据才可以修改。

在内容列表中右键单击点要素图层，选择“属性(Properties)|符号系统(Symbology)”，打开图层属性的符号系统选项卡，在左侧选择“类别(Categories)|唯一值(Unique Value)”，在右侧选择包含类别的属性字段，并选择符号系统(见图 2-23)。以名称(Name)字段作为分类依据，单击“添加所有值(Add All Value)”，将列出所有点要素的名称，以及将分配给这些名称的符号，双击名称前面的符号可以修改符号，使之更具有辨识度。对线要素和面要素图层执行类似的操作。

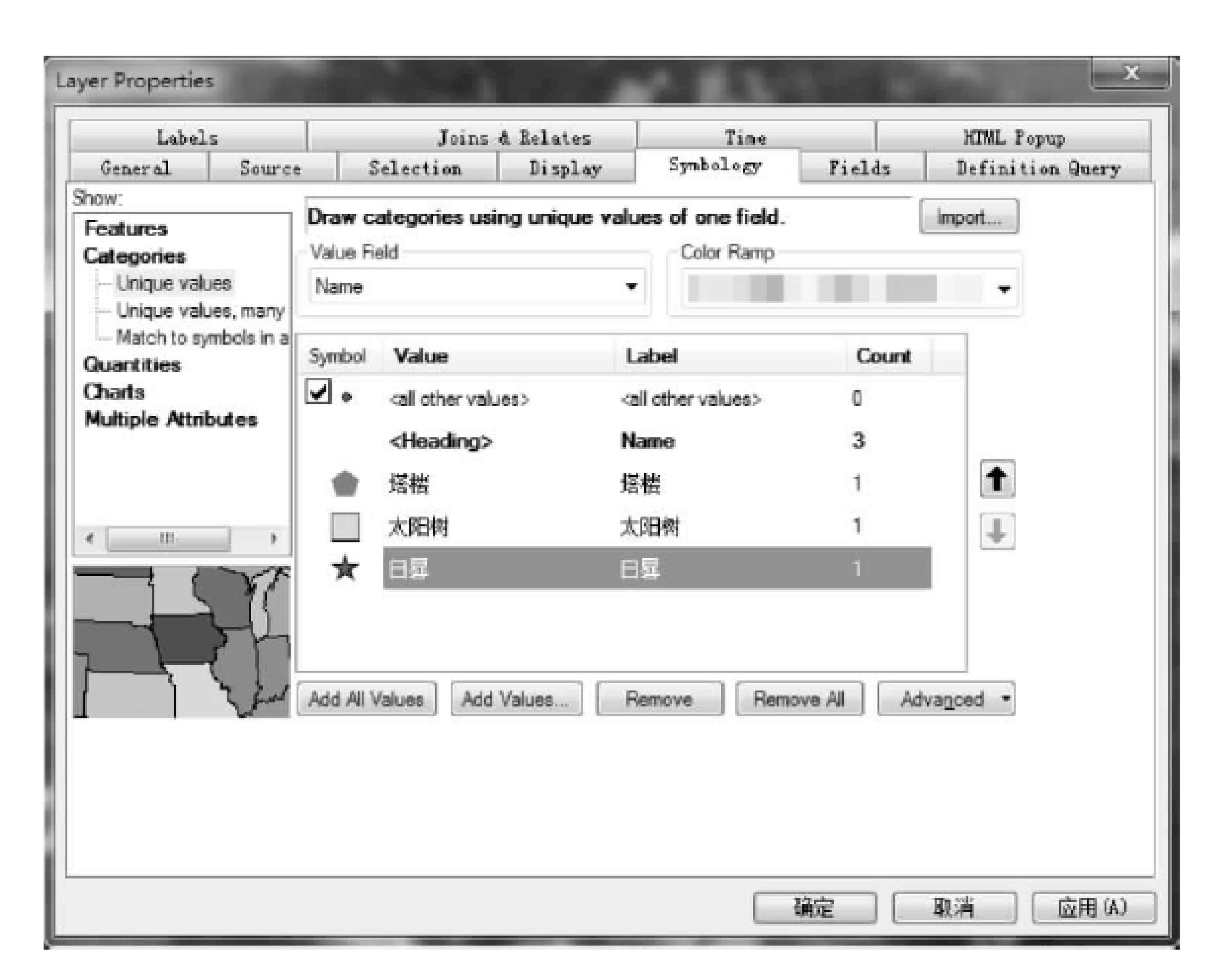


图 2-23　修改符号系统

进一步地，单击内容列表的“图层(Layers)”，右键选择“标注(Labeling)|标注管理器(Label Manager)”，为每种要素设置标注的显示属性(见图 2-24)。编辑后地图显示如图 2-25 所示。

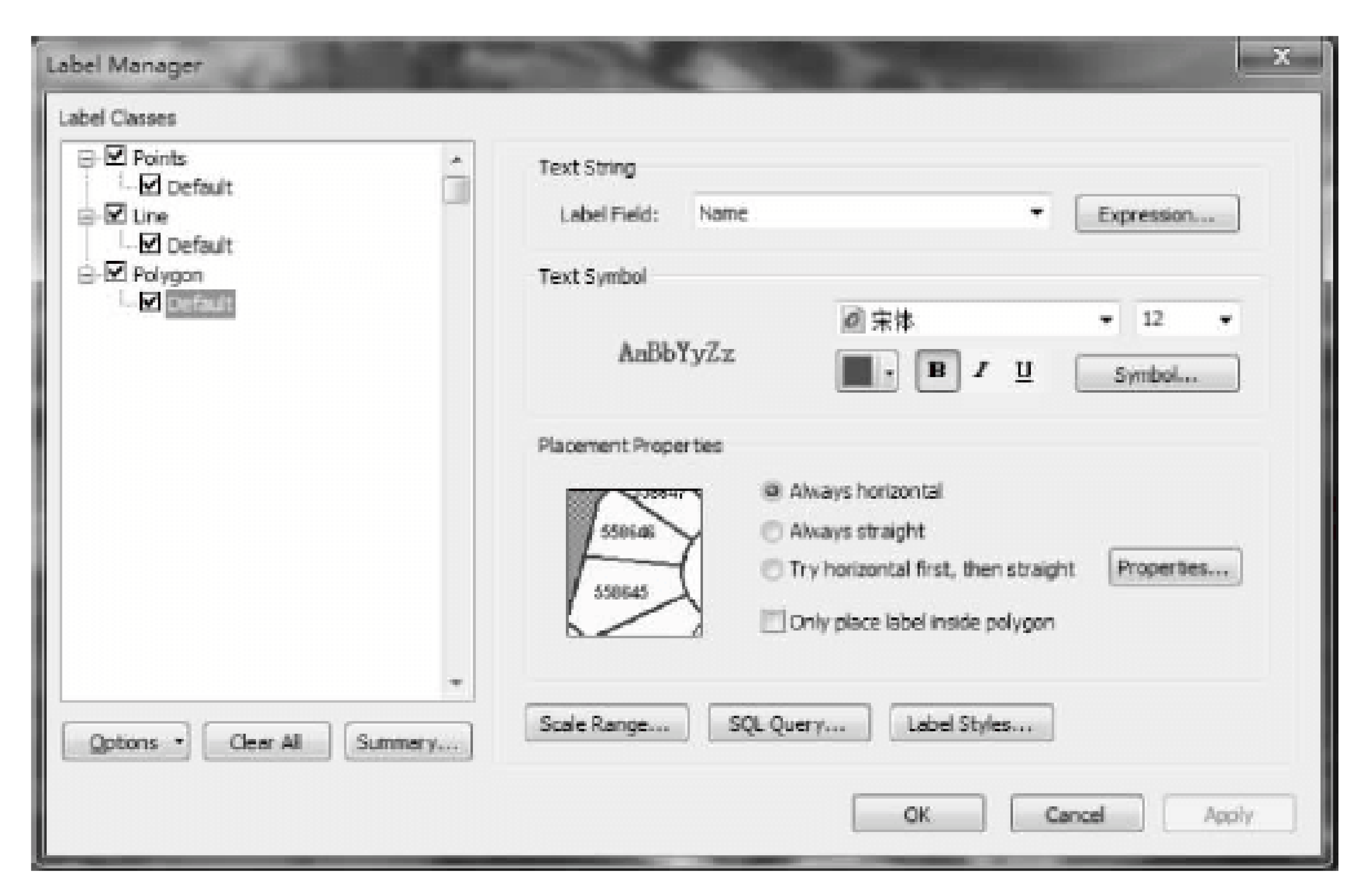


图 2-24　标注管理器



图 2-25　修改了符号系统，并添加了标注的地图

(5) 打开布局视图，添加一定的地图元素，编辑并输出一个完整的地图文件

将视图切换到布局视图，单击菜单“插入(Insert)”，依次在页面上插入指北针、图例、标题、比例尺等地图要素，合理布局，编辑一个完整的地图(见图 2-26)。

编辑完成后，选择菜单“文件(Files)|输出(Export)”，可以将地图输出多种格式，至此，一个简单的地图制作流程就完成了。

本实验提示 17：比例尺的数值是 ArcMap 自动测量后生成的，不能改变。

本实验提示 18：放置图例时，默认是放置一列，如希望要素图例按列分开，可以右键单击图例，在“属性(Properities)|项目(Items)”中勾选“在新的列放置项(Place item in a new column)”。



图 2-26　页面布局视图

2. 应急空间信息专题图绘制

新建用于编辑深圳大学城清华园区应急空间专题图的地图工程文件 Tsinghua_sz. mxd 和地理数据库 Tsinghua_sz. gdb 文件。将 Tsinghua_sz_WGS84. jpg 栅格数据加载到 Tsinghua_sz. gdb 中去。

在目录窗口中右键单击 Tsinghua_sz. gdb，指向"导入(Import)|单个表格(Table Single)"，打开导入表格对话框，如图 2-27 所示。选择深圳大学城清华园区应急空间数据库中的道路 GPS 信息表(此处以清华园区内一条混行道为例)，将数据表导入地理数据库。类似地，导入包含了道路非空间属性的"路网信息表"。

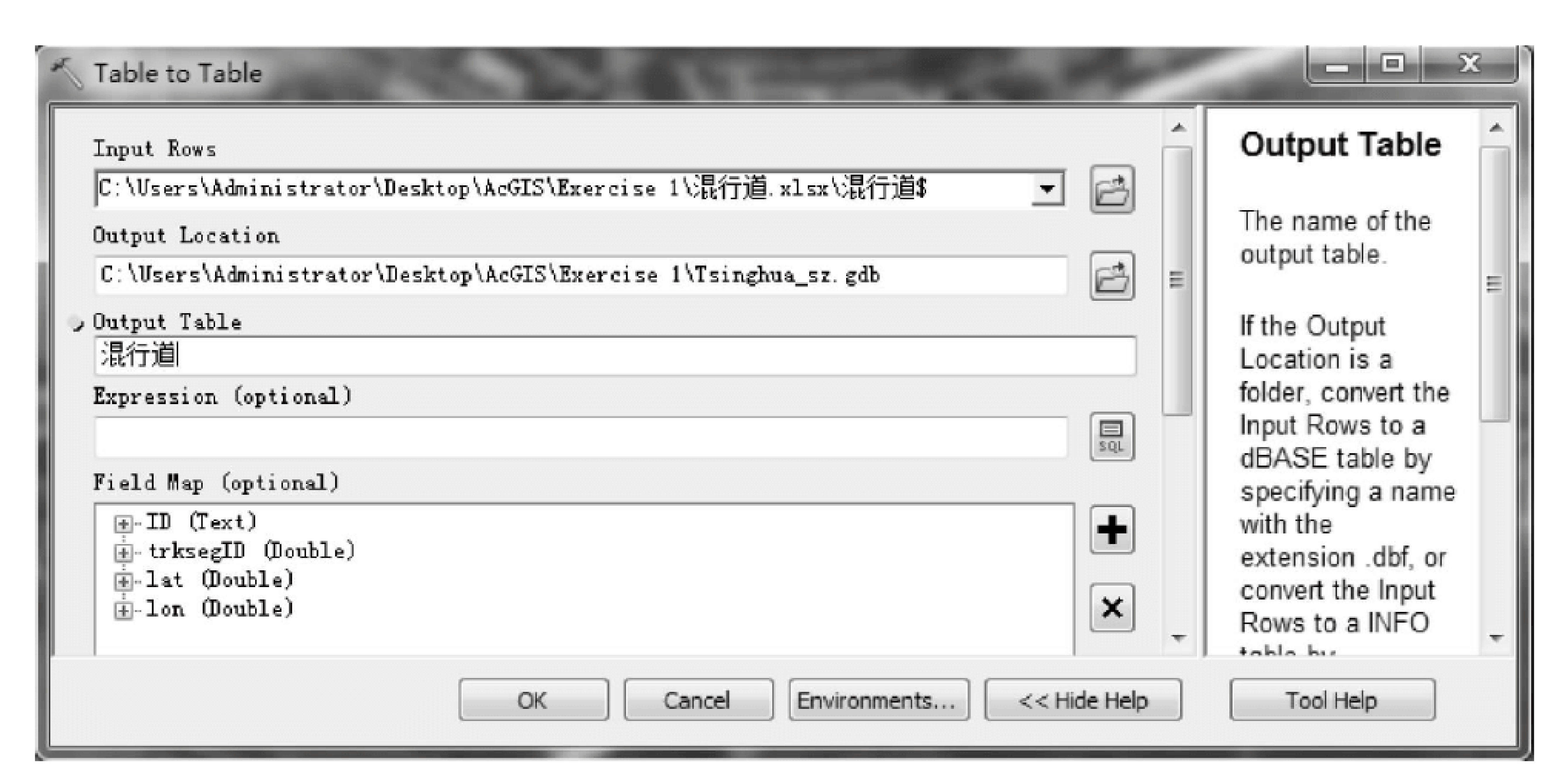


图 2-27　根据表生成要素类

在目录窗口展开 Tsinghua_sz. gdb，右键单击已导入数据库的"混行道"表格，单击"创建要素类(Create Feature Class)|从 XY 表格"，打开根据表格指定的 X、Y 坐标，创建点要素的对话框，如图 2-28 所示。选择点要素的 X、Y 坐标对应于表格中的字段名称，确定点要素的坐标系统和存储位置，单击"确定(OK)"。转换完成后，在 Tsinghua_sz. gdb 中出现了名为"XY 混行道"的要素类，将其拖曳至 ArcMap 数据框，如图 2-29 所示。

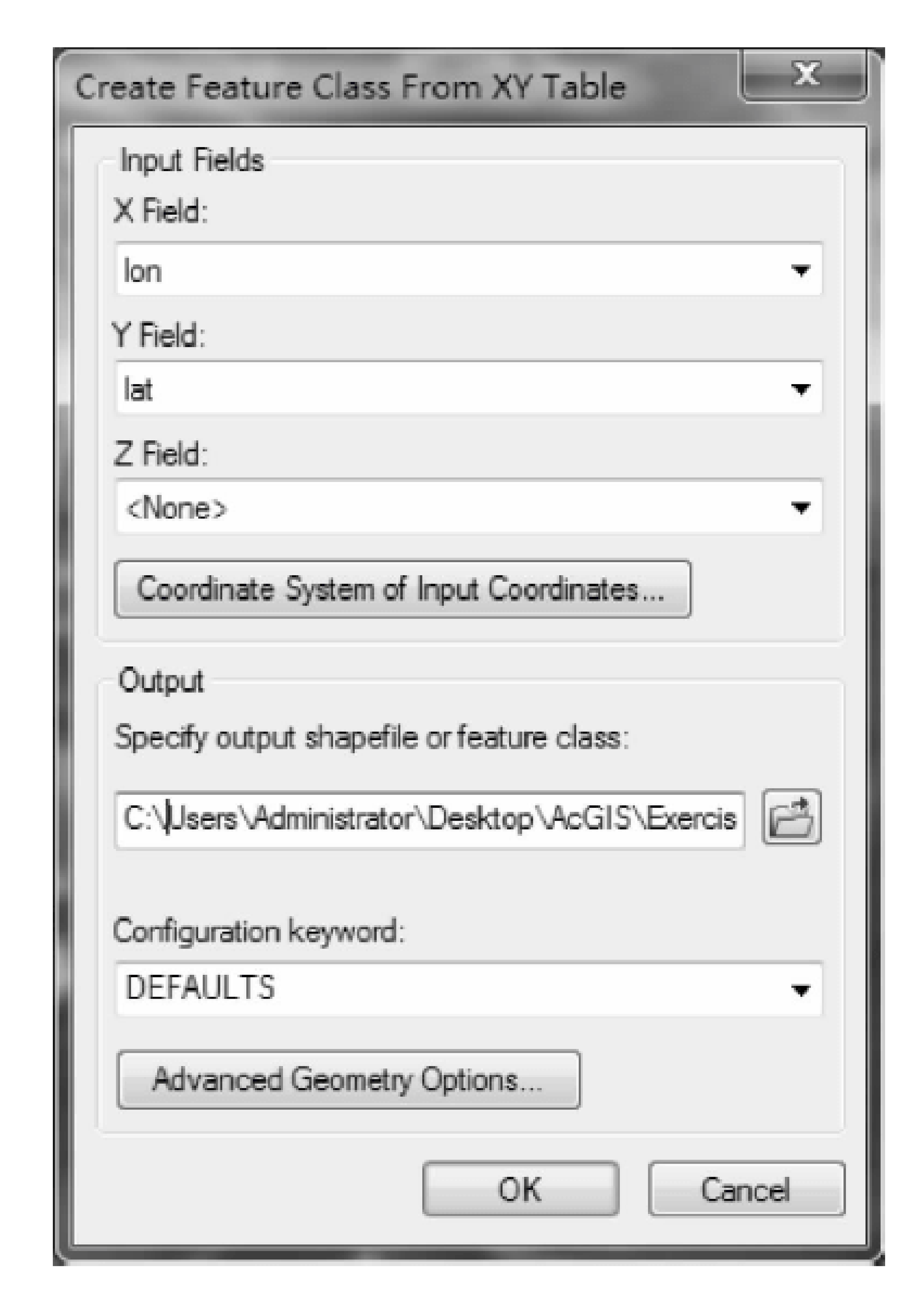


图 2-28　根据表格指定的 XY 坐标生成点要素对话框

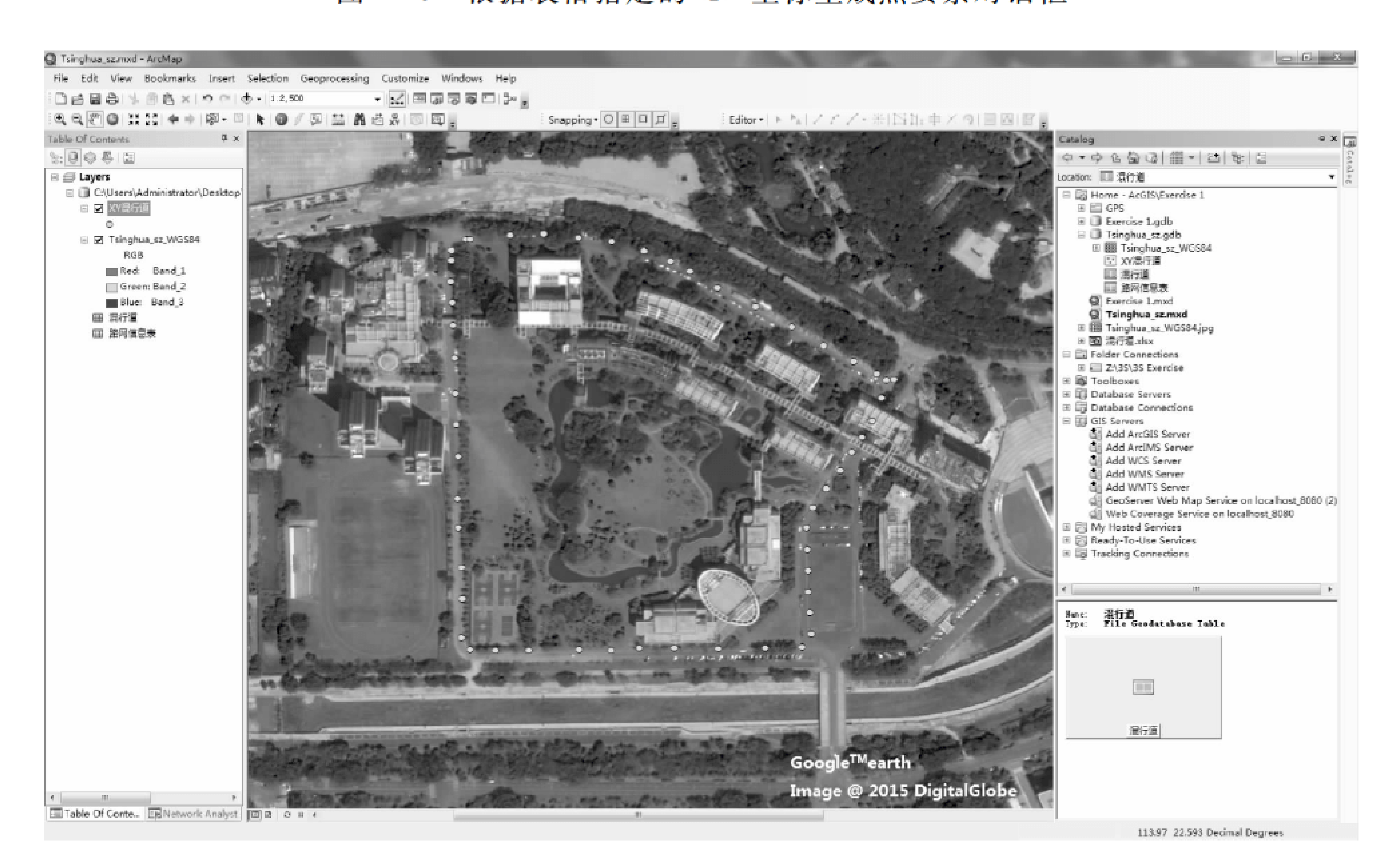


图 2-29　根据表格指定的 XY 坐标生成的点要素类

在 Tsinghua_sz.gdb 中创建道路线要素，并添加“名称”属性字段。类似于实验步骤 1 中 2)的(3)，使用编辑器工具条上的“创建要素(Create Features)”工具，选择线要素模板，同时启用“捕捉(Snapping)”工具中的“点捕捉(Point Snapping)”，如图 2-30 所示，通过捕

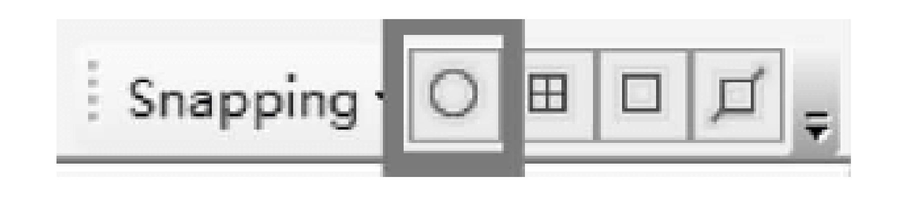


图 2-30　捕捉(Snapping)工具条及点捕捉(Point Snapping)工具

捉 GPS 测量点,手动数字化该道路,调整道路图层的符号系统,将其命名为“混行道 1”,之后保存并停止编辑,如图 2-31 所示。



图 2-31　沿 GPS 测量点数字化道路

此时线要素道路并不具有路网信息表中的非空间属性,需要通过连接操作,将路网信息表中的非空间属性赋予道路要素。右键单击内容列表中的“道路”图层,选择“连接和关联(Joins and Relates)|连接(Joins)”,打开连接数据对话框,选择基于道路名称,从路网信息表连接属性,如图 2-32 所示。连接之后再次打开道路图层的属性表,可以看到“混行道 1”线要素已具有完整的属性值。

打开标注(Labeling)工具条,启动 Maplex 标注引擎,如图 2-33 所示。打开标注管理器,勾选“道路”图层,选择“名称”属性字段作为标注字段,设置标注的符号样式,同时打开属性对话框,在“标注密度(Label Density)”选项卡中选择“重复标注(Repeat Label)”,打开选项(Option)对话框,选择重复的最小间隔为 20mm,如图 2-34 所示。确定后返回地图数据框,可以看到线要素的分段标注效果,如图 2-35 所示。

3. GIS 的空间校正与地理配准

(1) 依据栅格数据将 GPS 数据对应的路段矢量化(命名为混行道 2),对比栅格数据、根据栅格数据绘制的矢量数据与 GPS 实地测量的数据,如图 2-36 所示。可以看出根据卫星影像得到的图形与实际有一些偏差,由此不难理解空间校正与地理配准的必要性,理解 GPS 技术在更新与维护 GIS 数据库上的作用。

(2) 打开空间校正工具条,如图 2-37 所示,查看各种校正方法。

本实验提示 19:关于各种校正方法的详解可以参看 ArcGIS 帮助文件,目录为:桌面—编辑—编辑现有要素—执行空间校正—变换数据/对数据进行边匹配/对数据执行橡皮页变换。

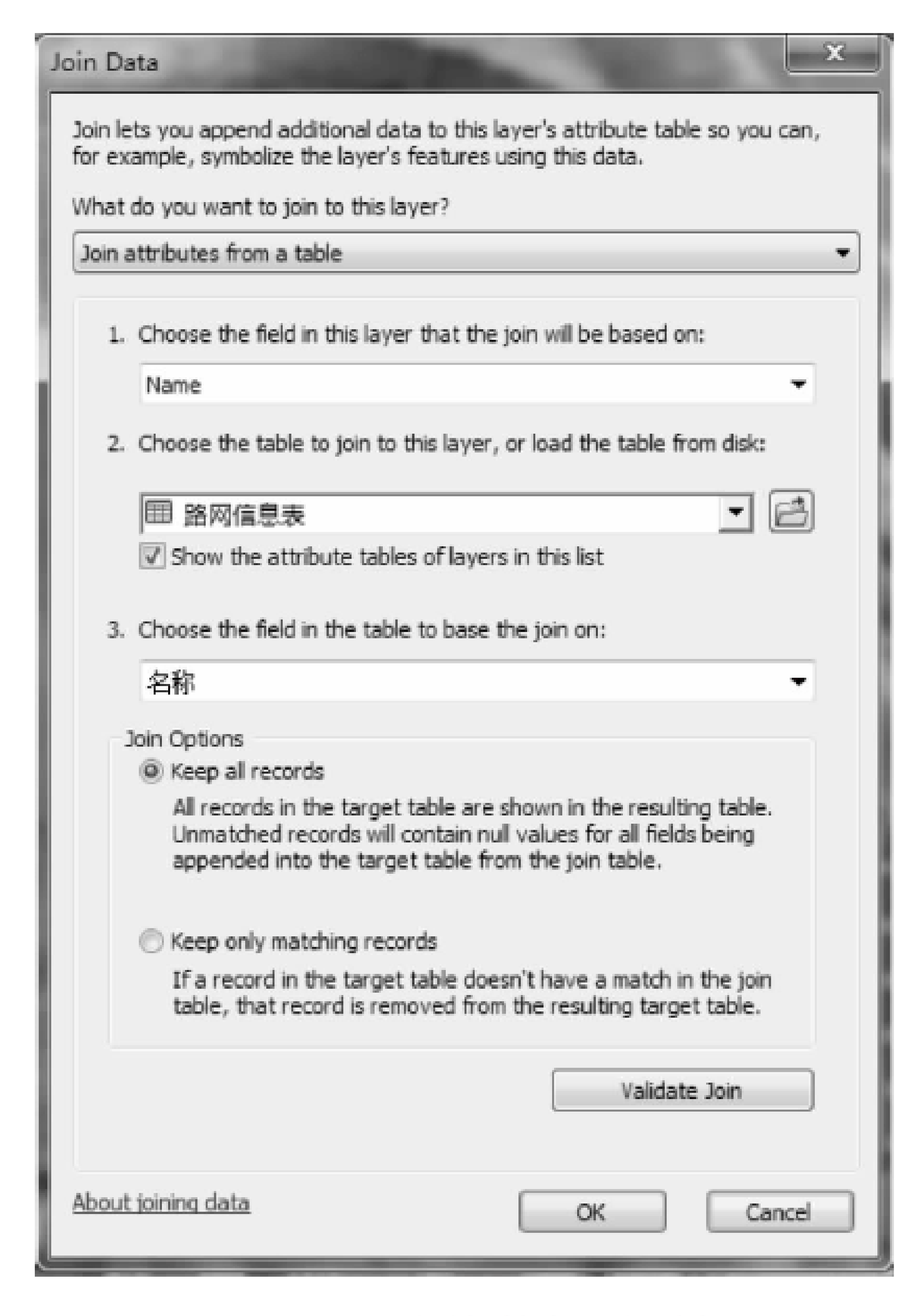


图 2-32　连接数据对话框

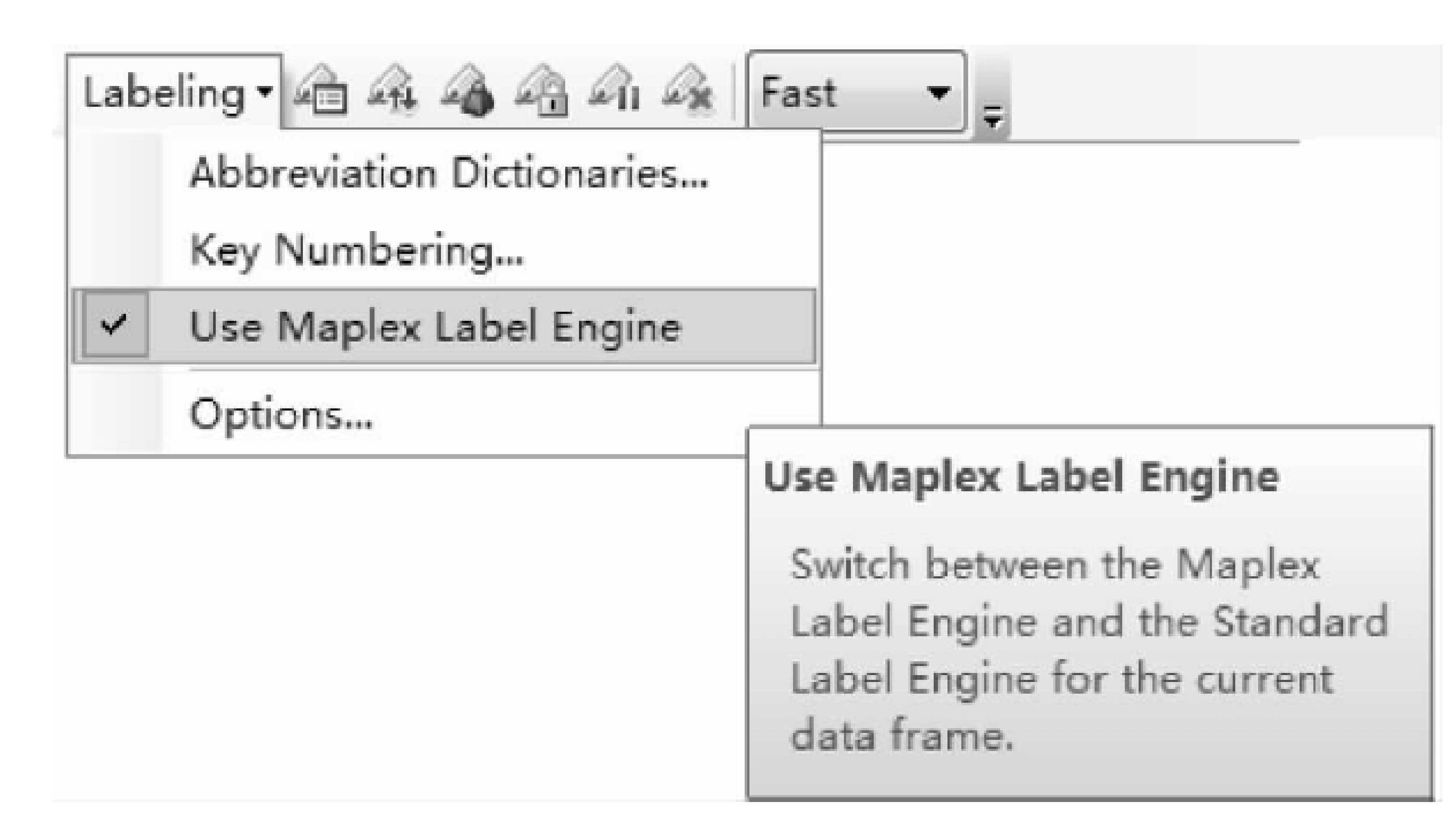
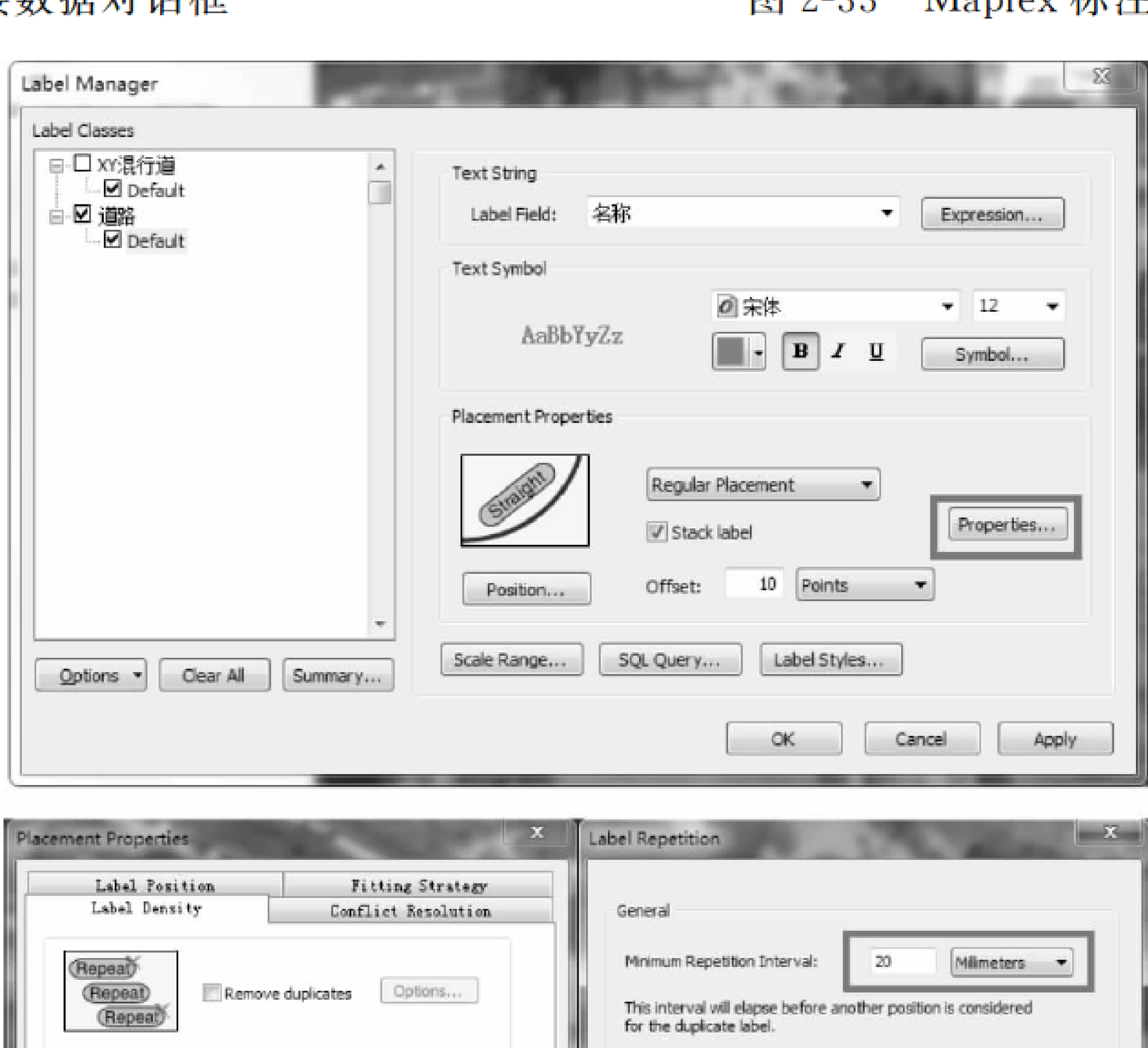


图 2-33　Maplex 标注引擎



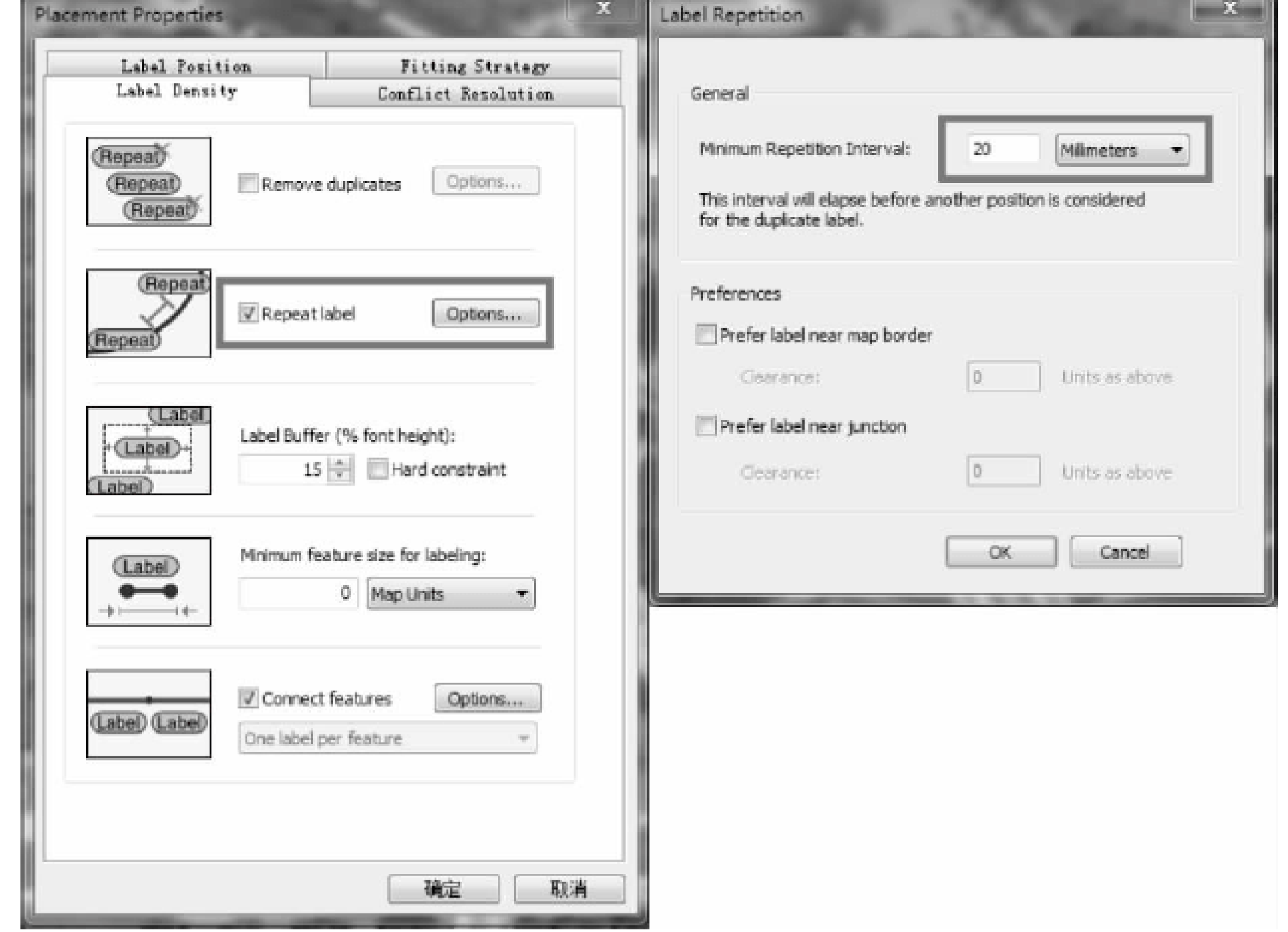


图 2-34　使用 Maplex 标注引擎进行线要素的分段标注设置



图 2-35　线要素的分段标注效果



图 2-36　根据卫星影像数据得到的道路图形与根据 GPS 实际测量数据得到的道路图形比较



图 2-37　空间校正工具条及各种校正方法

(3) 启动编辑,打开空间校正工具条上的“设置校正数据(Set Adjust Data)”对话框,如图 2-38 所示,设置欲校正的数据为所选中的数据(因为源要素与目标要素均在同一个图层)。

选择合适的校正方法,此处以使用“橡皮页变换(Rubbersheet)”为例。

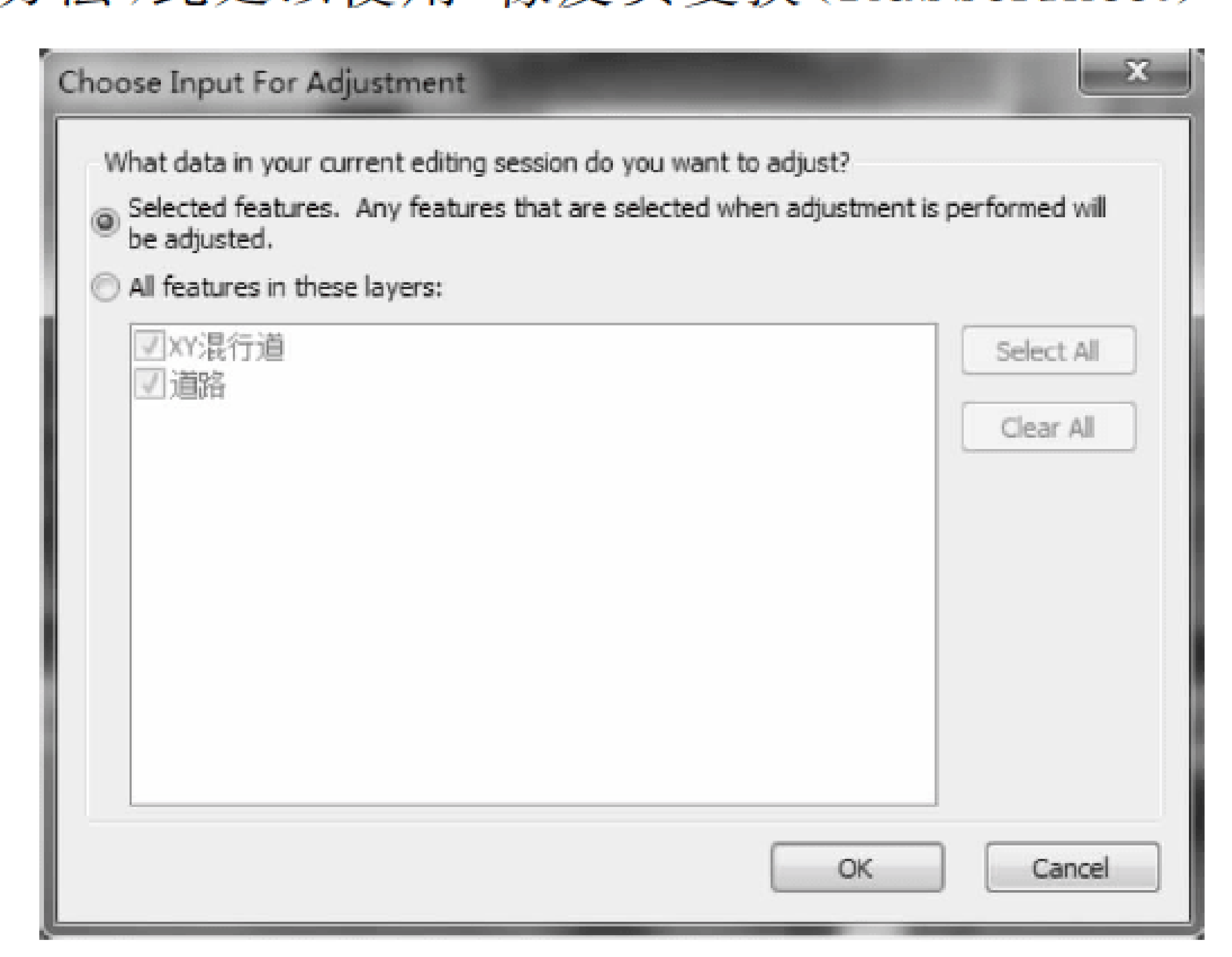


图 2-38　设置校正数据

打开道路图层的属性表,单击选中“混行道 2”记录,可以从地图数据框中看到混行道 2 线要素高亮显示,我们将根据混行道 1(根据 GPS 实际测量值得到)的位置校正混行道 2(根据卫星影像数据矢量化得到)。

利用图 2-37 所示的“创建位置连接(New Displacement Links Tool)”工具,在地图中混行道 2 上单击,并指向混行道 1 上相应的位置单击,生成箭头连接,用以表示原始位置到目标位置的方向和距离。利用图 2-37 所示的“创建标识连接(New Identity Links Tool)”工具,在地图中混行道 2 上单击,用以表示在校正过程中,这些标识点保持不动。如图 2-39(局部放大)所示。

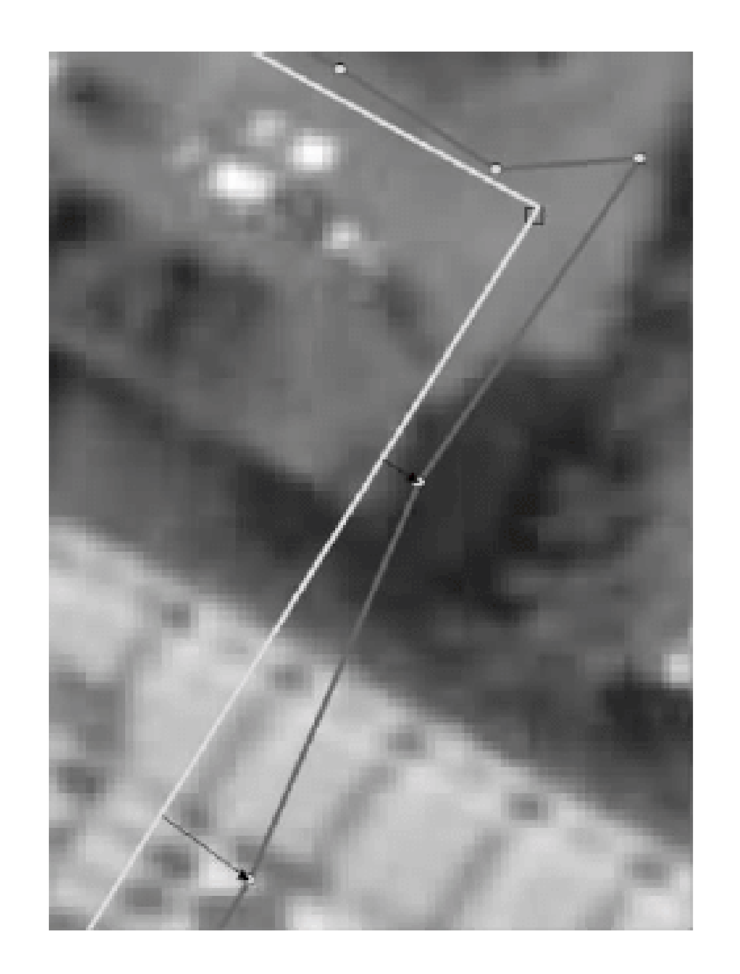


图 2-39　位置连接和标识连接

设置完毕后,可以通过“校正预览(Adjust Preview)”观察校正后的效果,也可以通过“校正(Adjust)”命令执行空间校正。校正后效果如图 2-40 所示。

(4) 打开地理配准工具条,如图 2-41 所示,查看各种配准方法,注意数据框坐标系与栅格图层坐标系必须一致。

本实验提示 20:关于各种配准方法的详解可以参看 ArcGIS 帮助文件,目录为:地理数据—数据类型—栅格和影像—处理和分析栅格数据—地理配准。



图 2-40　执行空间校正后的效果

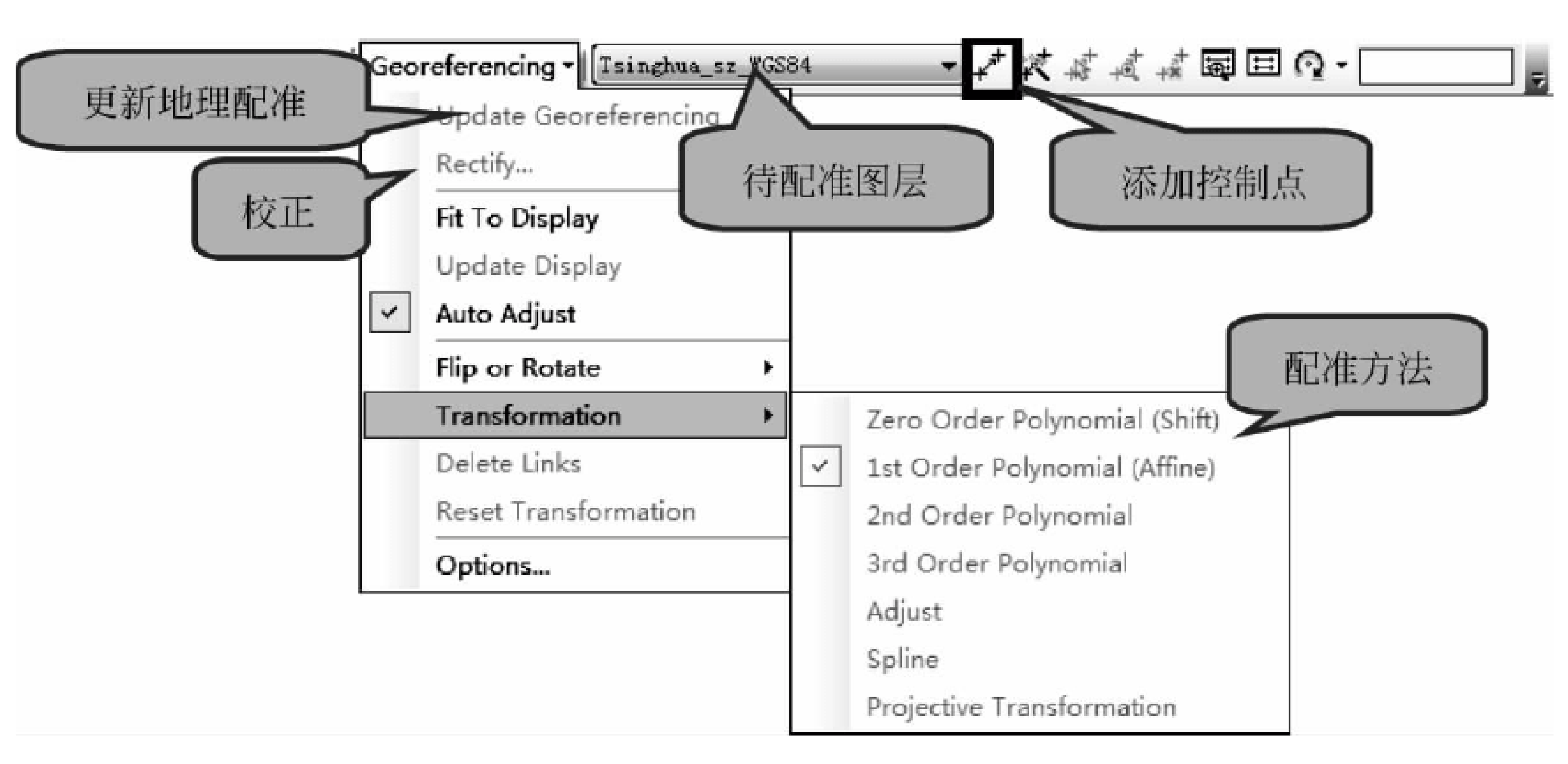


图 2-41　地理配准工具条与多种配准方法

(5) 类似于空间校正中创建位置连接的操作，单击配准工具条上的"添加控制点(Add Control Points)"，选择合适的控制点与配准方法，执行地理配准，由于勾选了"自动校正(Auto Adjust)"，每添加一个控制点，栅格图层都会有相应的调整。

在地理配准工具条中，有"更新地理配准(Update Georeferencing)"与"校正(Rectify)"两个命令，如图 2-41 所示。对于本实例中的栅格图层，使用"更新地理配准(Update Georeferencing)"命令，将仅在地图文档中更新栅格图层，而地理数据库中的源栅格不受影响；如果使用"校正(Rectify)"命令，将在地理数据库中创建一个新的永久变换的栅格数据。

六、拓展练习

1. 新建地图工程文件和地理数据库

遵循以下命名格式：练习 2_制图者姓名。

2. 将实验练习 1 拓展练习中创建的应急空间数据库中的所有表单数据加载到地理数据库中去。根据表数据生成独立要素类。

在地图工程文件中完成所有地理要素编辑、处理、存储、显示等工作。

要求：包含点、线、面三种要素类型；具有完整的属性值。

本实验提示 21：本实验手册后文提及的“实验练习 2 输出的地理数据库与地图工程文件”均假设用户是利用光盘提供的深圳大学城清华园区应急空间数据库中的数据完成该课后作业练习。

3. 编辑地图工程文件

地图数据框选择合适的投影坐标系。

地图的显示满足以下要求：

(1) 栅格地图只能在 1∶10000 和 1∶1000 比例尺范围内可见；

(2) 面要素只有在比例尺大于 1∶3000 才可见；

(3) 点状和线状要素只有在比例尺大于 1∶10000 才可见；

(4) 不同几何类型的要素使用不同的颜色表示；

(5) 危险源具有合适的缓冲区；

(6) 标注除缓冲区外的所有要素；

(7) 不同类型的点要素使用不同的标注符号表示；

(8) 重点防护目标设置书签方便快速定位；

(9) 设置“全局视图”为所有要素均可见的视图。

4. 编辑页面布局，导出地图文件

(1) 加入页面布局，包括数据框(所有要素可见)、比例尺、指北针、地图标题、描述性文本、符号图例、图表等地图元素，调整格局。

(2) 导出地图，保存成 PDF 格式的应急专题地图文件。

实验三　地理编码及应急空间查询技术

一、实验目的

1. 理解几何度量、空间方位、空间距离、空间拓扑等多种空间关系。

2. 掌握按要求对地图中的空间实体及相关信息进行访问，从空间实体中挑选并分离出满足一定空间关系和属性特征条件的内容。

3. 理解地理编码和地址匹配查询的概念。

4. 理解空间查询技术在应急管理中的应用，能够从应急空间数据中快速匹配并定位符合条件的地理要素、目标区域等，为应急决策提供支撑。

二、实验内容

1. 使用美国得克萨斯州奥斯汀县的地理信息数据，练习在表和图层中进行交互式选择、基于空间关系查询、基于属性特征查询以及混合查询等多种空间查询方法。

2. 练习通过查询分离要素。

3. 练习使用查找和查找路径工具。

4. 练习在图层中进行地理编码操作，将地址数据映射到地图上。

三、输入输出

1. 输入数据

（1）文件地理数据库 Austin.gdb；

（2）实验练习 2 拓展练习中建立的地理数据库与地图工程文件。

2. 拓展练习输出数据

（1）地理数据库，包含实验内容要求的地理信息；

（2）地图工程文件，包含实验内容要求的地理信息。

所有命名遵循以下格式：练习 3_制图者姓名。

四、预备知识

1. 空间查询

空间信息查询是按一定的要求对 GIS 所描述的空间实体及其相关信息进行访问，从候选的空间实体中挑选出满足要求的内容[11]。在应急资源管理、危险源综合风险分析、防护目标查询等过程中，GIS 系统空间查询技术均被广泛使用。比如在危险源综合风险分析过程中，空间查询可以辅助应急管理人员分析危险源与周围环境的相对位置关系、危险源数目与级别分布情况等风险因素，确定周边消防力量、医疗力量等救援资源，还可以

建立危险源信息查询数据库,实时掌握危险源相关信息的更新。通过空间查询与分析技术,能够辅助应急管理人员进行风险识别,绘制出城市危险源风险分布图,进而在危险源物资运输、存储、管理,以及制定应急预案等环节提供决策支持。

GIS 系统通常有四种不同的空间信息查询方式:基于空间关系特征的查询、基于属性特征的查询、混合查询和地址匹配查询[11]。

空间特征不仅包括空间实体的维度、形状、尺寸等几何信息,也包括空间实体间拓扑(如图 3-1 所示)、方位、距离等空间关系。基于空间特征的查询即以几何度量、空间方位、空间距离、空间拓扑等关系作为条件进行的空间信息查询。如查询满足如下条件的危险源:①在某条街道的东部;②距离某学校不超过 3 千米;③位于某行政区内;④面积小于 5000 平方米。该查询涉及了空间方位①、空间距离②、空间拓扑③和几何度量④等多种空间关系。这些条件均属于空间特征描述。

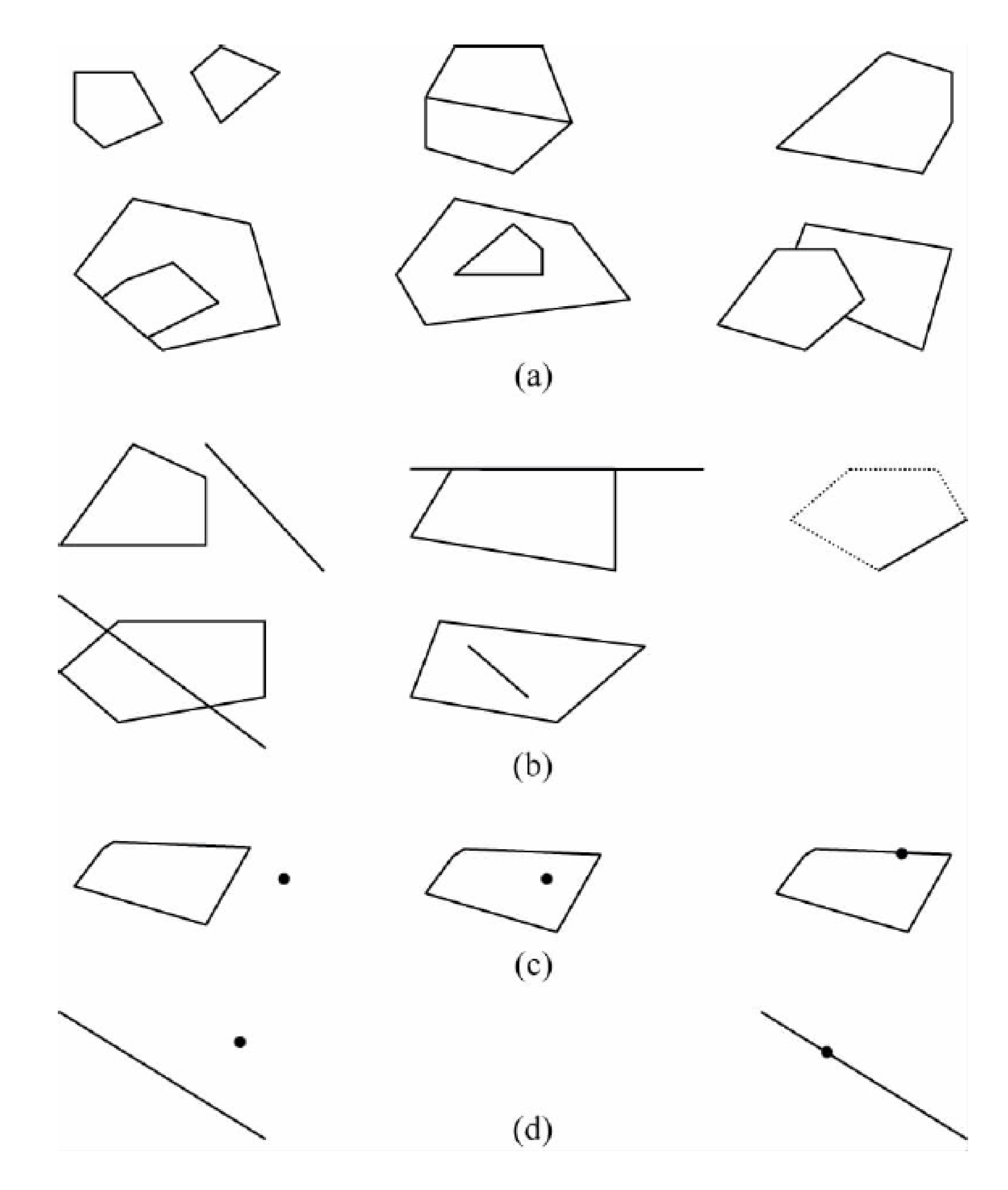


图 3-1　空间实体拓扑关系

(a) 面-面空间关系;(b) 面-线空间关系;(c) 面-点空间关系;(d) 线-点空间关系

基于属性特征的查询主要是在属性数据库中完成的。如查询满足如下条件的危险源:①类别为油库;②存放时间超过 5 年。该查询涉及了危险源类别和存放年数两项属性特征描述。

在实际空间信息查询时,查询条件可能即包含属性特征条件也包含空间特征条件。如用户想查询满足如下条件的危险源:①距离某学校不超过 3 千米;②面积大于 5000 平方米;③类别为油库。该查询涉及了空间特征和属性特征。

随着空间数据库技术的发展,当前成熟的地理信息系统很少独立采用空间数据库和

属性数据库来分别存储空间实体的空间特征和属性特征。目前流行的方式是在传统关系数据库的基础上，开发空间数据引擎，从而实现在关系数据库中对空间实体的空间特征和属性特征进行统一存储[11]。在空间数据引擎的支持下，可以直接使用类似于 SQL 的方式进行各种类型的空间信息查询，这种扩展的 SQL 语言称为空间查询语言。如上述查询条件，可以写出如下空间查询语句：

```
SELECT *
FROM RiskSource
WHERE
Distance(RiskSource,School)＜3km   AND
Area(RiskSource)＞5000m²          AND
RiskSource.Type IS'油库'
```

常用的空间查询函数如表 3-1 所示。

表 3-1　常用的空间查询函数

函数形式	返回值类型	说明
Distance(A,B)	数值型	计算两空间实体的距离
Equals(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否相等
Disjoint(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否分离
Intersects(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否相交
Touches(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否相接触
Crosses(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否穿越
Overlap(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否交叠
Contains(A,B)	布尔型	判断两空间实体是否包含
Length(A)	数值型	计算空间实体的长度
Area(A)	数值型	计算空间实体的面积
Centroid(A)	几何型	计算空间实体的质心

地址匹配查询是根据街道地址来查询事物的空间位置和属性信息，比如输入深圳市南山区丽水路 2279 号，就可定位到深圳大学城清华园区。在日常生活中，我们会应用地址匹配查询技术来进行导航和定位，而在专业领域，它对空间分布的社会、经济调查和统计也很有帮助，只要在调查表中添加地址，地理信息系统就可以自动地按空间位置来统计分析各种经济社会调查资料。

2. ArcGIS 中的多种查询方法和查询工具

ArcGIS 系统提供了多种空间信息查询方法和查询工具，包括交互查询、按位置选择、按属性选择、按图形选择、使用查找和查找路径工具等。同时提供了选择选项卡，允许用户设置一定的限制规则[12]。

交互查询能动态地通过两个关联的窗口（图形窗口和属性表格窗口）进行，在一个窗口选中的内容，在另一个窗口中会标示出相应信息，从而实现同时查阅空间实体的空间信息和属性信息的目的。

按位置选择工具允许用户根据要素相对于另一图层要素的位置来进行选择，通常称要从中选择要素的图层为目标图层，作为空间参照的图层为源图层，用户基于源图层与目标图层的空间关系，确定目标图层中应当选择的要素。比如想了解危险源可能影响的社区，可以选择包含在危险源影响范围内的所有社区，这其中社区图层为目标图层，危险源图层为源图层。

ArcGIS 支持的空间关系包括：

1）与源要素图层相交

相交返回与源图层要素完全或部分重合的要素，例如经过危险源存放场所的道路。图 3-2 提供了一些示例，点、线、面之间均可构成相交关系，图中红色部分表示源图层要素，三行图片分别显示源要素为点、线、面时的情况，青色部分表示目标图层中被选中的要素，三列图片分别显示目标要素为点、线、面时的情况，以下相同，不再复述。

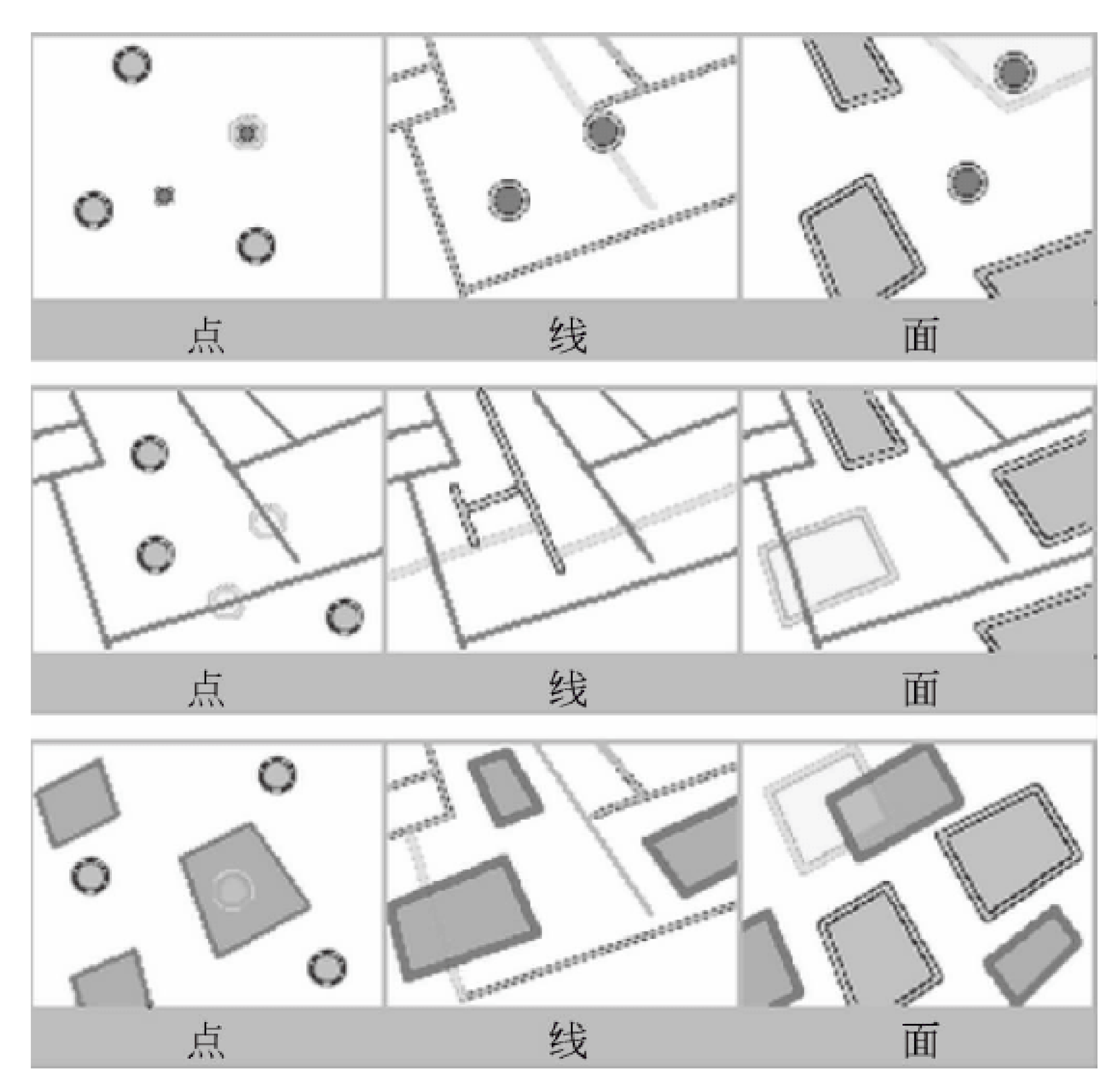


图 3-2　返回与源图层相交的要素[12]

2）返回某一距离内的要素

此操作使用指定的距离，在源要素周围建立缓冲区，并返回目标图层中与缓冲区相交的所有要素，例如查找距离危险源存放场所 1km 以内的社区。图 3-3 提供了一些示例，其中三行图片的黄色区域分别显示了点、线、面三种缓冲区。

3）目标要素在源图层要素范围内

此操作要求目标要素落在源要素的几何之内，该情况又可以分为三种，即：

（1）目标要素与源要素可以有边界重合，这种情况在 ArcGIS 中称为“在源图层要素范围内”；

（2）目标要素与源要素不可以有边界重合，这种情况在 ArcGIS 中称为“完全位于源图层要素范围内”；

（3）目标要素不能完全落在源要素的边界上，而没有任何部分位于源要素内，这种情况在 ArcGIS 中称为“在(Clementini)源图层要素范围内”。

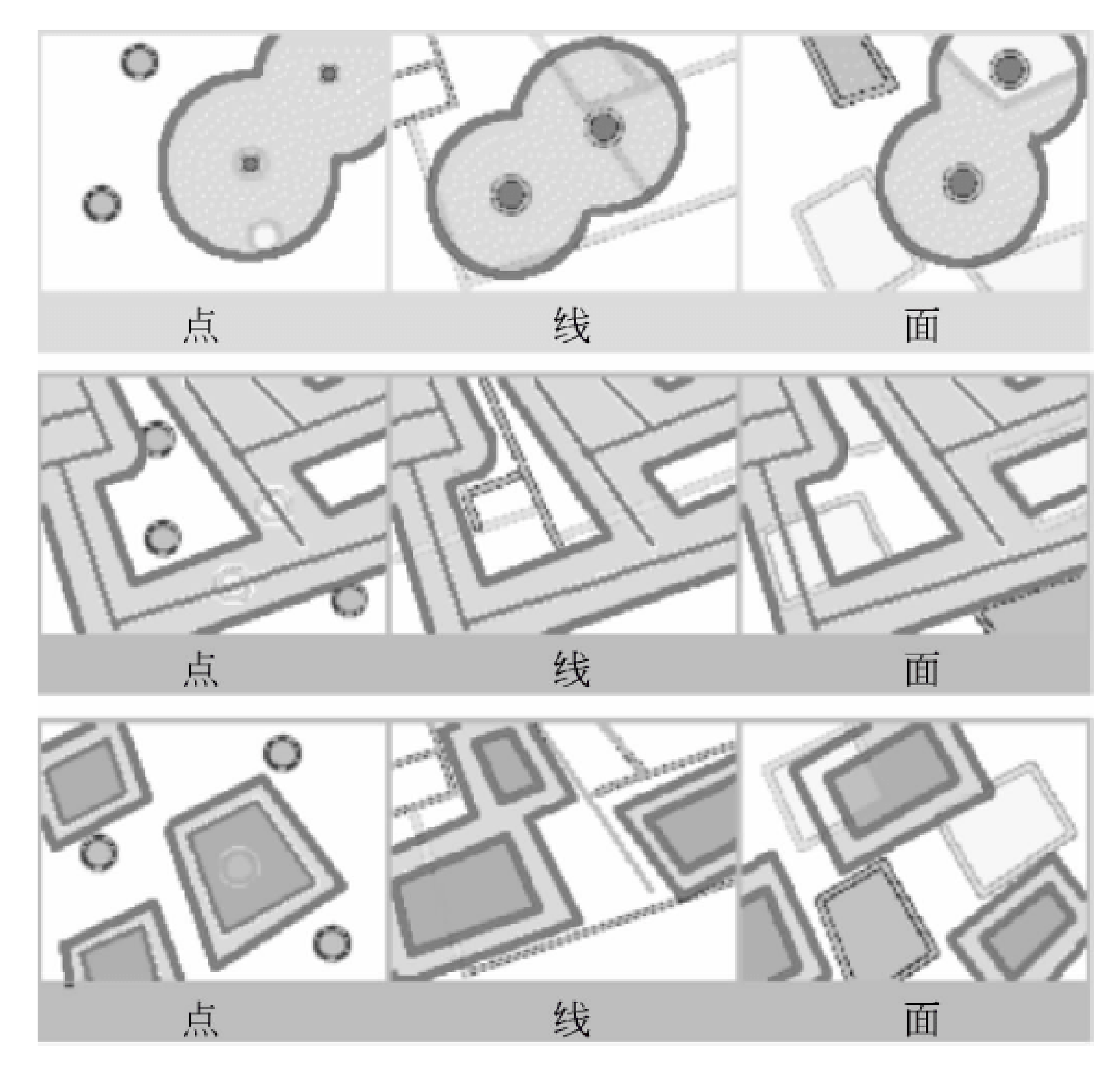


图 3-3　返回距离源图层一定距离内的要素[12]

图 3-4 显示了三种情况的示例，以面要素图层为源图层较容易理解，观察第二列线要素与面要素的空间关系，可以看出"在源要素图层范围内"是条件最宽松的情况，观察第二、三列可以看出，"在(Clementini)源图层要素范围内"会排除那些只落在边界的情况。

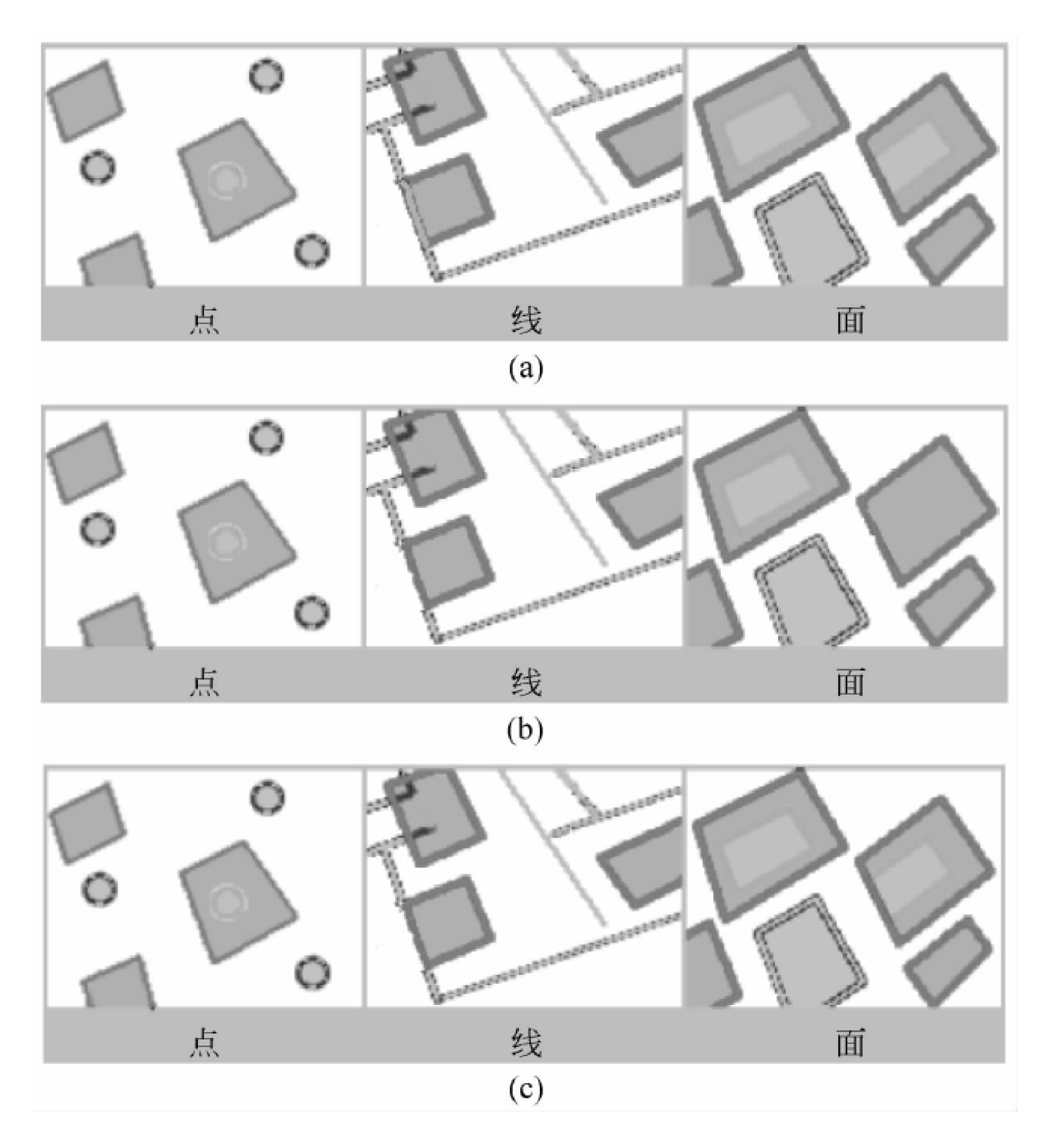


图 3-4　返回落在源要素范围内的要素

(a) 在源要素图层范围内；(b) 完全位于源图层要素范围内；(c) 在(Clementini)源图层要素范围内[12]

4）目标要素包含源要素

此操作与上述“目标要素在源图层要素范围内”正好相反，因此相应的也包含三种情况：

(1) 源要素与目标要素可以有边界重合，这种情况在 ArcGIS 中称为“包含源图层要素”；

(2) 源要素与目标要素不可以有边界重合，这种情况在 ArcGIS 中称为“完全包含源图层要素”；

(3) 源要素不能完全落在目标要素的边界上，而没有任何部分位于源要素内，这种情况在 ArcGIS 中称为“包含(Clementini)源图层要素”。

5）与源图层要素完全相同

此操作要求目标要素与源要素的几何严格相等，显然，源要素与目标要素必须具有相同的要素类型。

6）接触源图层要素的边界

此操作要求源要素与目标要素均为线要素或者面要素，只要目标要素与源要素有边界接触，目标要素就会被选中。图 3-5 提供了几种示例。

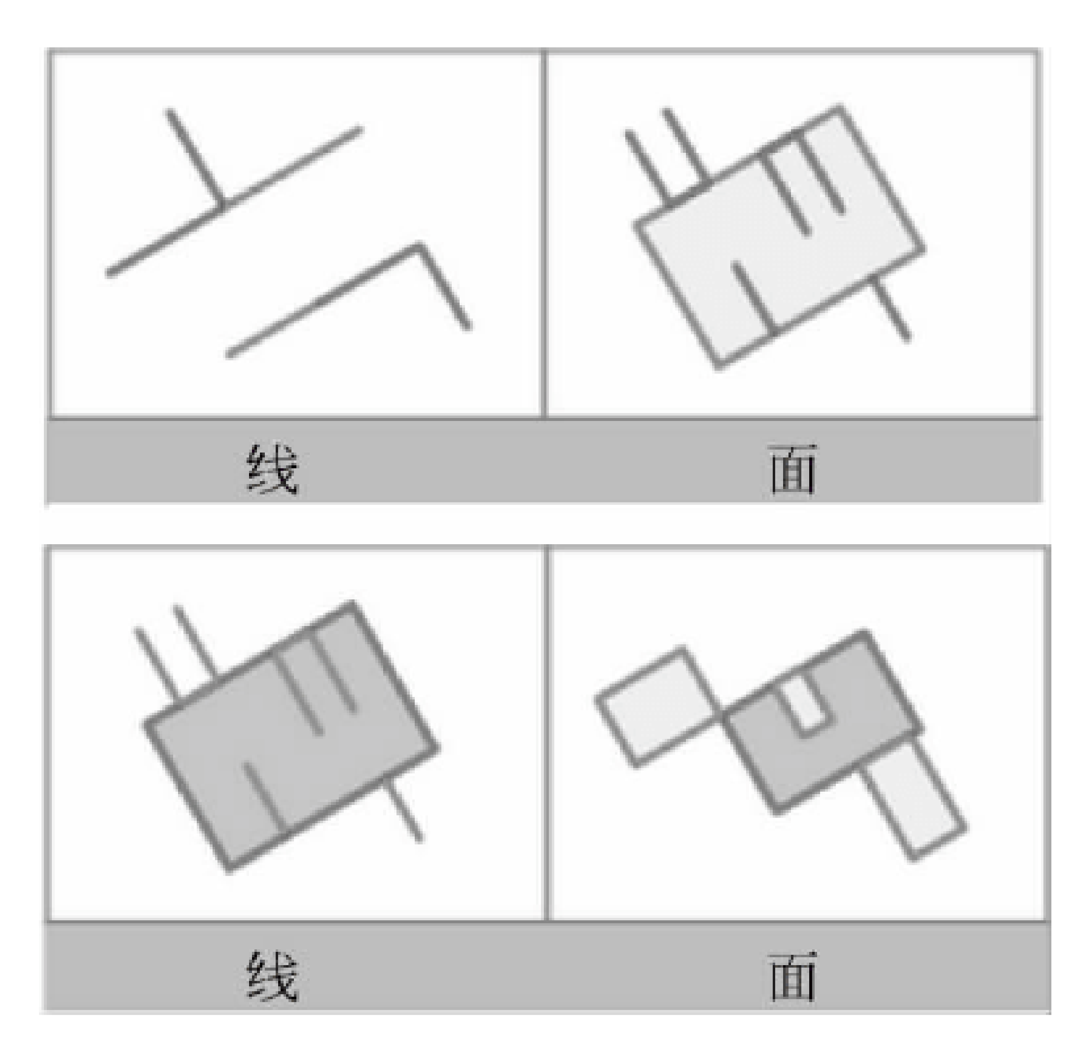


图 3-5　返回接触源要素边界的线要素或面要素[12]

7）与源图层要素共线

此操作要求源要素与目标要素均为线要素或者面要素，两者至少有两个共用的连续折点，也就是有一条边界共用。图 3-6 提供了几种示例。

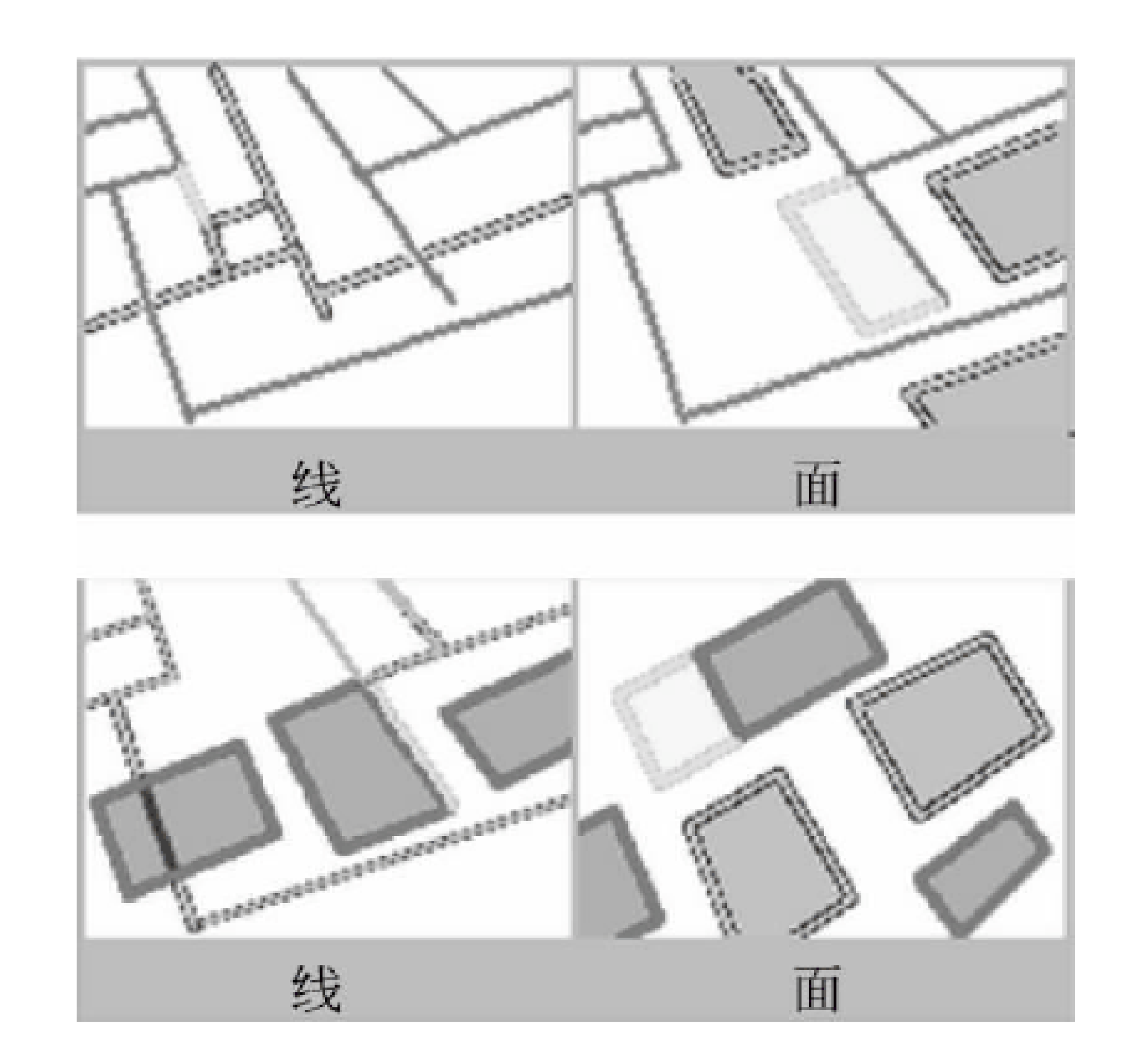


图 3-6　返回与源要素共线的线要素或面要素[12]

8）质心在源图层要素范围内

此操作要求目标要素的几何质心落在源要素的几何之内或落在其边界上。

9）与源图层要素轮廓交叉

此操作要求源要素与目标要素均为线要素或者面要素，两者边界有一个或多个交点，但是不能共线。

ArcGIS 使用 SQL 查询表达式来实现按属性选择，在查询表达式中可以运用多种查询运算符和函数来构成 SQL 语句，构建复杂的查询条件。在文件地理数据库中，ArcGIS 支持的查询运算符如表 3-2 所示。

表 3-2　ArcGIS 支持的查询运算符

算术运算符			
＋	加法算术运算符	*	乘法算术运算符
－	减法算术运算符	/	除法算术运算符
比较运算符			
＜	小于	＞	大于
＜＝	小于等于	＞＝	大于等于
＝	等于	＜＞	不等于
BETWEEN x AND y	选择值大于等于 x 且小于等于 y 的记录		
EXISTS	子查询不为空时返回 TURE，否则返回 FALSE		
IN	如果指定的属性字段包含 IN 中列出的多个字符串或值中的一个，选择该记录		
LIKE	与通配符结合使用，构建对不完整的字符串的搜索		
NULL	选择指定属性字段为空值的记录，NULL 关键帧前面始终使用 IS 或 IS NOT		
逻辑运算符			
AND	如果两个条件都为 TRUE，则选择该记录	OR	两个条件至少一个为 TRUE，则选择该记录
NOT	选择与表达式不匹配的记录		
字符串运算符			
||	返回连接多个字符串表达式后得到的字符串		

表达式可以包含通配符，比如“%”表示任意数量字符，“_”表示一个字符。

在 ArcGIS 文件地理数据库中，查询表达式可以直接调用的函数如表 3-3 所示。

表 3-3　ArcGIS 支持的查询表达式

日期函数	
CURRENT_DATE	返回当前日期
EXTRACT（extract_field FROM extract_source）	返回 extract_source 的 extract_field 部分。extract_source 参数是一个日期时间表达式。extract_field 参数可以是下列任一关键字：YEAR、MONTH、DAY、HOUR、MINUTE 或 SECOND

续表

<table>
<tr><th colspan="4">日期函数</th></tr>
<tr><td colspan="2">CURRENT TIME</td><td colspan="2">返回当前时间</td></tr>
<tr><th colspan="4">字符串函数</th></tr>
<tr><td colspan="2">CHAR_LENGTH(string_exp)</td><td colspan="2">返回字符串表达式的字符长度</td></tr>
<tr><td colspan="2">LOWER(string_exp)</td><td colspan="2">返回一个与 string_exp 相等的字符串,其中所有大写字符均会转换为小写字符</td></tr>
<tr><td colspan="2">UPPER(string_exp)</td><td colspan="2">返回一个与 string_exp 相等的字符串,其中所有小写字符均会转换为大写字符</td></tr>
<tr><td colspan="2">POSITION (character_exp IN character_exp)</td><td colspan="2">返回第一个字符表达式在第二个字符表达式中的位置</td></tr>
<tr><td colspan="2">SUBSTRING(string_exp FROM start FOR length)</td><td colspan="2">返回一个从 string_exp 衍生而来的字符串,其起始字符位置由 start 指定,字符数由 length 指定</td></tr>
<tr><td colspan="2">TRIM(BOTH | LEADING | TRAILING trim_character FROM string_exp)</td><td colspan="2">返回字符串的开头、末尾或两端移除 trim_character 后所得的 string_exp</td></tr>
<tr><th colspan="4">数值函数</th></tr>
<tr><td>SIN(float_exp)</td><td>返回正弦值,角度以弧度表示,下同</td><td>ASIN(float_exp)</td><td>返回反正弦值</td></tr>
<tr><td>COS(float_exp)</td><td>返回余弦值</td><td>ACOS(float_exp)</td><td>返回反余弦值</td></tr>
<tr><td>TAN(float_exp)</td><td>返回正切值</td><td>ATAN(float_exp)</td><td>返回反正切值</td></tr>
<tr><td>LOG(float_exp)</td><td>返回自然对数</td><td>LOG10(float_exp)</td><td>返回以 10 为底的对数</td></tr>
<tr><td>ABS(numeric_exp)</td><td>返回绝对值</td><td>SIGN(numeric_exp)</td><td>返回正负号标志</td></tr>
<tr><td>FLOOR(numeric_exp)</td><td>返回小于或等于 numeric_exp 的最大整数</td><td>CEILING (numeric_exp)</td><td>返回大于或等于 numeric_exp 的最小整数</td></tr>
<tr><td>MOD (integer_exp1, integer_exp2)</td><td>返回 integer_exp1 除以 integer_exp2 所得的余数</td><td>POWER (numeric_exp, integer_exp)</td><td>返回 numeric_exp 的 integer_exp 次幂的值</td></tr>
<tr><td>ROUND(numeric_exp, integer_exp)</td><td colspan="3">返回四舍五入至小数点右侧第 integer_exp 位的 numeric_exp,如果 integer_exp 为负数,则 numeric_exp 将被四舍五入至小数点左侧第 |integer_exp| 位</td></tr>
<tr><td>TRUNCATE(numeric_exp, integer_exp)</td><td colspan="3">返回截断至小数点右侧第 integer_exp 位的 numeric_exp。如果 integer_exp 为负数,则 numeric_exp 将被截断至小数点左侧第 |integer_exp| 位</td></tr>
<tr><th colspan="4">CAST 函数</th></tr>
<tr><td>CAST (exp AS data_type)</td><td colspan="3">将值转换为指定的数据类型</td></tr>
</table>

除了使用按位置选择和按属性选择两种方法外,ArcGIS 还提供了查找和查找路径工具,便于快速筛选出满足条件的候选项。这两个工具将在下面的实验步骤中介绍。

3. 地理编码

地理编码是指将各种关于位置的描述转化为地球表面上某位置的过程[13]。关于位

置的描述可以是基于某个空间参考系统的坐标对,比如经纬度,也可以是各种格式表示的地址记录,比如含有街道名称的门牌号及邮政编码。反向地理编码是地理编码的逆过程,根据地球表面上的位置获取该位置的地址描述。下面主要介绍地理编码过程。

地理编码技术在应急管理领域应用十分广泛,在建立应急信息数据库时,各地市统计上报的信息往往是以表格形式记录的,比如防疫防控信息,病人的位置信息是一条条文本形式的地址记录,在制图和空间分析中不能直接应用,而地理编码技术可以将文本形式的地址记录转换为地图上的点要素,从而便于应急管理人员绘制各种专题图,直观地反映统计数据包含的规律,进一步分析疫情发展态势。

在 ArcGIS 中,要成功执行地理编码,要遵循一定的步骤,这个步骤称为 ArcGIS 的地理编码工作流,如图 3-7 所示。

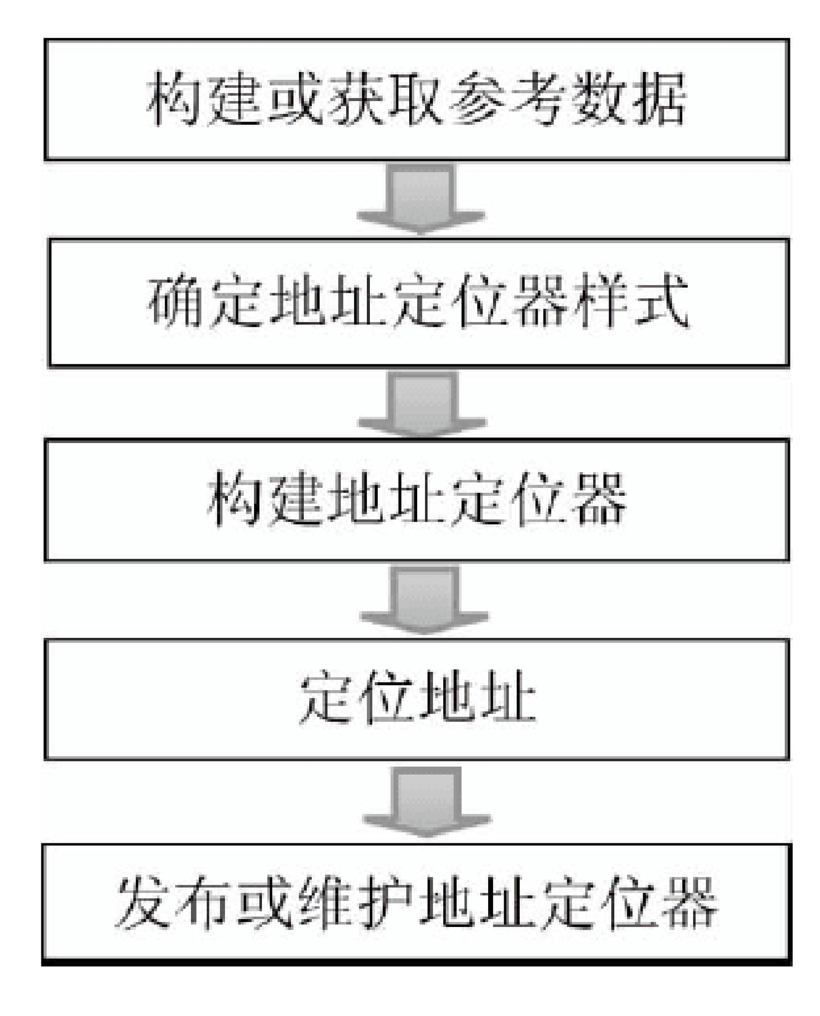


图 3-7　地理编码工作流

要使用计算机进行地理编码,首先要有良好的参考数据,也即地图中必须包含完整的地理范围和足够的详细信息。比如清华大学深圳研究生院的地址是“深圳市南山区丽水路　2279 号”,要定位此地址,则地图应该详细到完整显示丽水路,同时要具有门牌号范围,这样匹配出来的位置才是真实的清华大学深圳研究生院的位置。如果地图只显示深圳市,或者只有深圳市福田区的详细信息,则无法进行精确地址定位。同时,参考数据的不完整、拼写错误、属性错误或几何不正确等问题也会造成应该正确匹配的地址匹配度降低或者空间不正确。因此良好的参考数据是进行地理编码的首要条件。参考数据常为路网数据和宗地数据,其属性中可以包含的地址元素如表 3-4 所示。

其次需要构建一个完整的地址定位器,地址定位器基于特定的样式进行创建,定义了地址解析和地址匹配的规则,待解析的地址记录应具有地址定位器规定的样式。比如要解析“深圳市南山区丽水路 2279 号”这样的地址,其地址定位器应至少包含“城市-区域-街道-门牌号”这样的样式。显然,地址定位器样式必须根据参考数据属性中所包含的地址元素来选定。比如参考数据不包含门牌号范围,则地址定位器就不必选择带有门牌号的地址样式。在 ArcGIS 中可用的地址定位器样式如表 3-5 所示,注意其地址定位器样式大部分是根据美国地址来制定的,在使用国内的地址时,可以选择基本特征最接近的一种样式。

表 3-4　地址元素表

地址元素	说　明
左侧门牌号范围	街道左侧的门牌号范围，比如 2～100 号
右侧门牌号范围	街道右侧的门牌号范围，比如 1～99 号
前缀方向	街道名称前面的方向，比如 W. Redlands Blvd 中的 W，在中文地址中一般没有这个地址元素
前缀类型	街道名称前面的类型，如 Avenue B 中的 Avenue，在中文地址中一般没有这个地址元素
街道名称	街道的名称，如“丽水路”中的“丽水”
街道类型	街道名称后面的街道类型，如“学苑大道”中的“大道”
后缀方向	街道名称后面的方向，如 Bridge St. NW 中的 NW，在中文地址中一般没有这个地址元素
城市名称	城市名称，如“深圳”
省、州名称	省名称，如“广东”，某些国家则是州名称，如 Washington 或 WA
国家名称	国家名称，如“中国”
邮政编码	邮政编码，如清华大学深圳研究生院所在的 518055

表 3-5　地址定位器样式

样式	典型参考数据集几何	典型参考数据集表示方法	地址搜索参数	示例	应用
美国地址-城市/州	点或面	美国某个州的城市	城市名称，州名称或缩写	River Forest, IL	查找美国某个州的特定城市
美国地址-双范围	线	街段两侧的地址范围	单个字段中的所有地址元素	320 Madison St.	查找街道特定侧的房屋
美国地址-单范围	线	每条街段的单侧范围	单个字段中的所有地址元素	2 Summit Rd.	在不需要指定左/右侧的街道上查找房屋，或在街道左右侧信息被存储为街道属性的街道上查找房屋
美国地址-独立房屋	点或面	每个要素表示一个地址	单个字段中的所有地址元素	71 Cherry Ln.	查找宗地、建筑物或地址点
美国地址-街道名称	线	包含街道名称和可选区域名称的各个要素	单个字段中不含门牌号的地址元素	San Antonio TX	按街道名称查找要素
美国地址-5位邮政编码	点或面	邮政编码区或质心	五位数字的邮政编码	22066	查找特定的邮政编码位置

续表

样式	典型参考数据集几何	典型参考数据集表示方法	地址搜索参数	示例	应用
美国地址-增强型(ZIP+4)邮政编码	点或面	增强型(ZIP+4)邮政编码区或质心	五位数字邮政编码外加四位数字扩展的单个字段	96822—2323	查找特定的增强型(ZIP+4)邮政编码位置
美国地址-增强型(ZIP+4)邮政编码范围	点或面	每个要素表示一个邮政编码和附加4位的高低范围	五位数字邮政编码外加四位数字扩展的单个字段	63703—0078	查找特定的增强型(ZIP+4)邮政编码位置
常规-城市/州/国家	点或面	州和国家范围内的城市	城市名称,州名称或缩写,国家名称	Rice,WA,USA	在州和国家中查找特定城市
常规-地名词典	点或面	每个要素表示一个特定地理地名或地标	单个字段中的所有地名要素	Leeds Castle,England	在某个区域或全球范围内查找地理地名或地标
常规-单字段	点或面	通过文本字符串、名称或编码识别各要素	特定于用户的单个变量	Cafe Cabrillo	查找通过名称或编码识别的要素

当选定一种地址定位器样式后,ArcGIS会引导用户在地址定位器和参考数据之间建立一定的映射关系。比如选定了“美国地址-双范围”样式,该样式包含的地址元素包括街道左侧门牌号范围、街道右侧门牌号范围、街道前缀方向、街道前缀类型、街道名称、街道类型、街道后缀说明、邮编、城市名称、州名称等,其中一部分是在地理编码过程中必需的地址元素,参考数据必须具有对应的属性字段,其余的是可选的地址元素,参考数据可以具有,也可以不具有对应的属性字段,显然,参考数据对应的属性字段越多,地址匹配越准确。

将这些地址元素与参考数据的属性字段建立映射关系,在地理编码过程中,地理编码引擎会根据地址定位器定义的样式将地址记录转换为标准化的若干个地址元素,并生成多种解析结果,然后搜索参考数据,找出所有可能的匹配候选项,进行评分和排序,并在地图上显示出最佳匹配项。

在地址定位器中还可以使用别名表或备用名称表,来辅助主参考数据进行地址匹配,比如清华大学深圳研究生院各教学楼和办公楼,就具有中英文两个名称,比如大同楼也称为E楼,若为其制订备用名称表,并在构建地址定位器时指定使用备用名称表,则使用“大同楼”和使用“E楼”将定位到地图上的同一位置。

五、实验步骤

基于Austin数据,熟悉ArcGIS中的多种查询方式。

1. 交互式选择

在ArcMap中加载Austin地理数据库,浏览各个数据集,在数据框中加载bbq_pits、parks、named_creeks图层数据。

（1）将内容列表切换至“按选择列出”视图，如图 3-8 所示。操作过程中注意内容列表的变化。

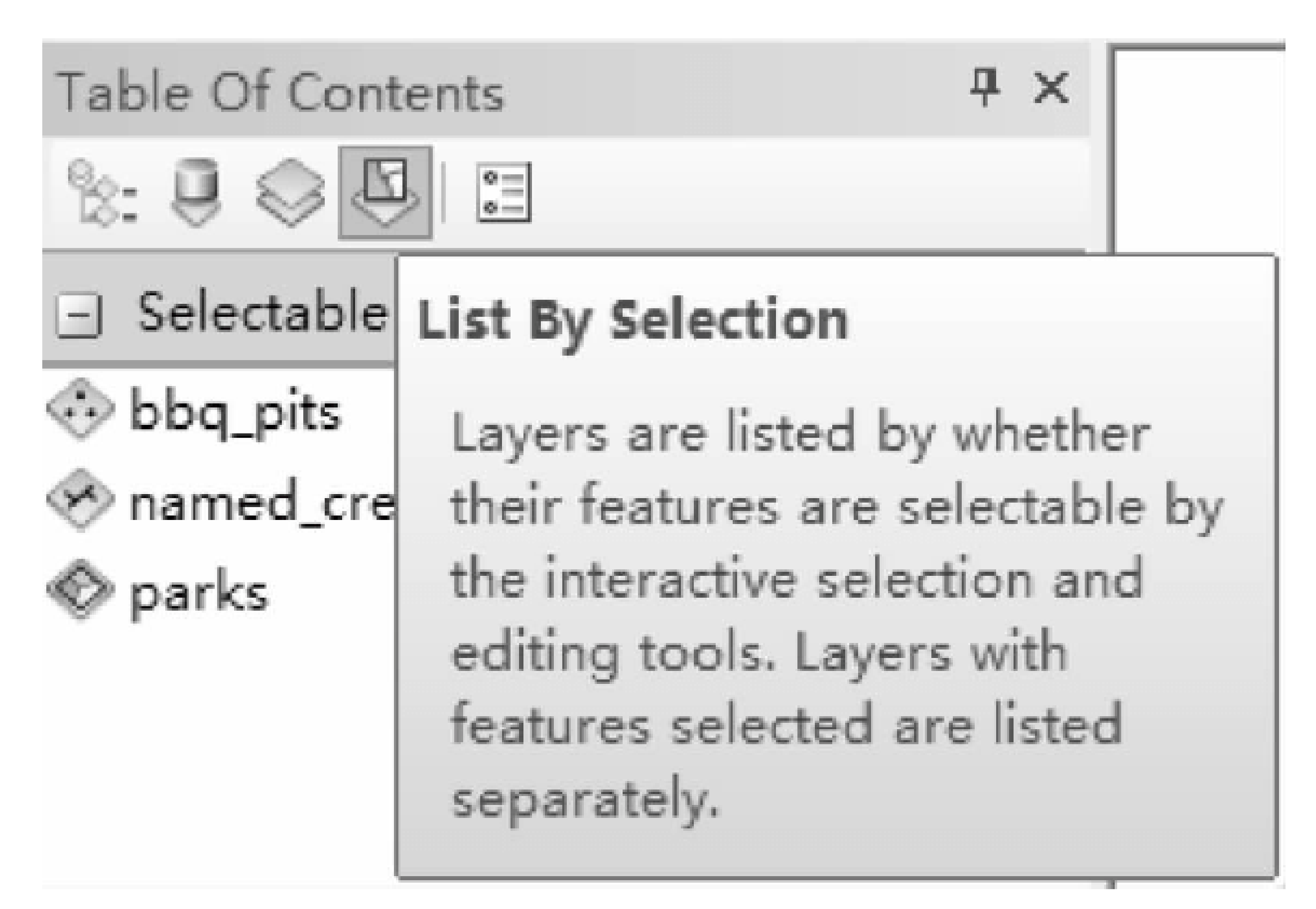


图 3-8　将内容列表切换至“按选择列出”

在内容列表中，每个图层名称的右边都有两列图标和一列数字，分别表示：切换设置该图层是否可选、清空该图层上所有选择、该图层被选择的要素个数，如图 3-9 所示。

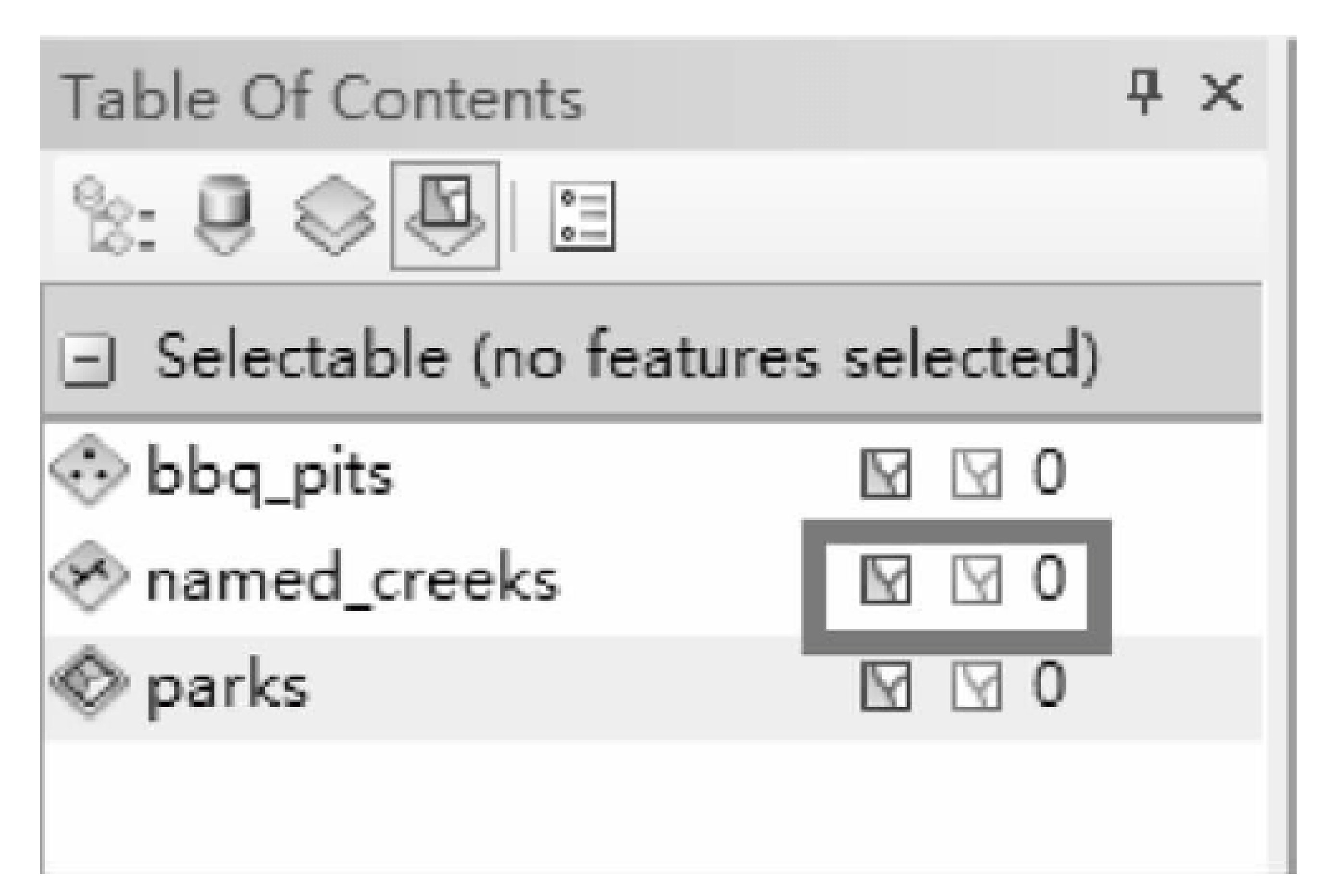


图 3-9　图层的选择状态

（2）熟悉“选择要素”与“清除选择”工具，熟悉交互选择方法和选择选项卡。

“选择要素”和“清除选择”工具位于工具栏上，其中“选择要素”工具提供了多种以图形方式选择的方法（见图 3-10）。

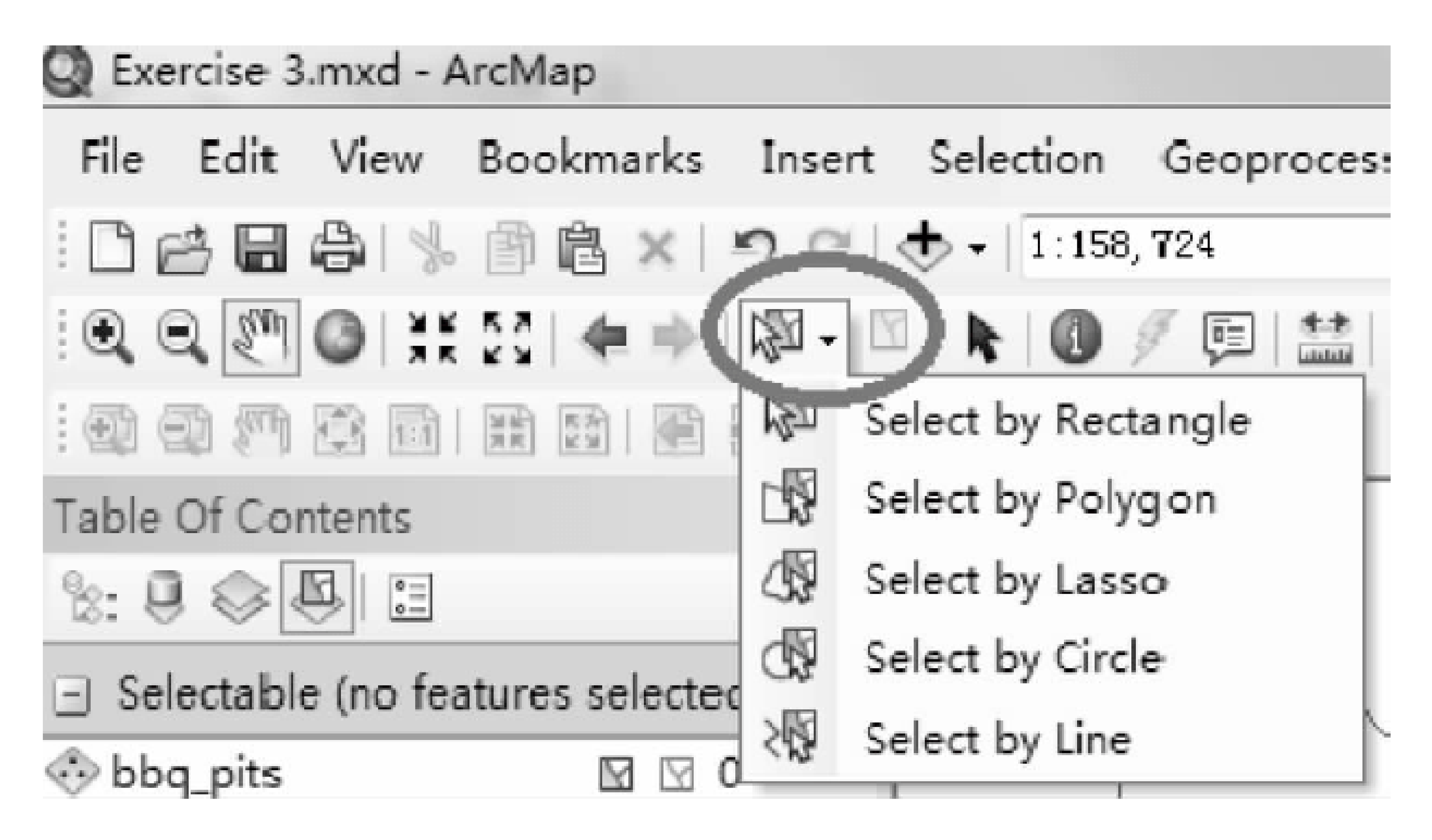


图 3-10　“选择要素”和“清除选择”工具

交互式选择方法可以指定是否要选择新的要素集，或者是以某种方式修改当前所选要素集，如图 3-11 所示，当遇到较为复杂查询条件时，这四种方法可以提供灵活的组合。

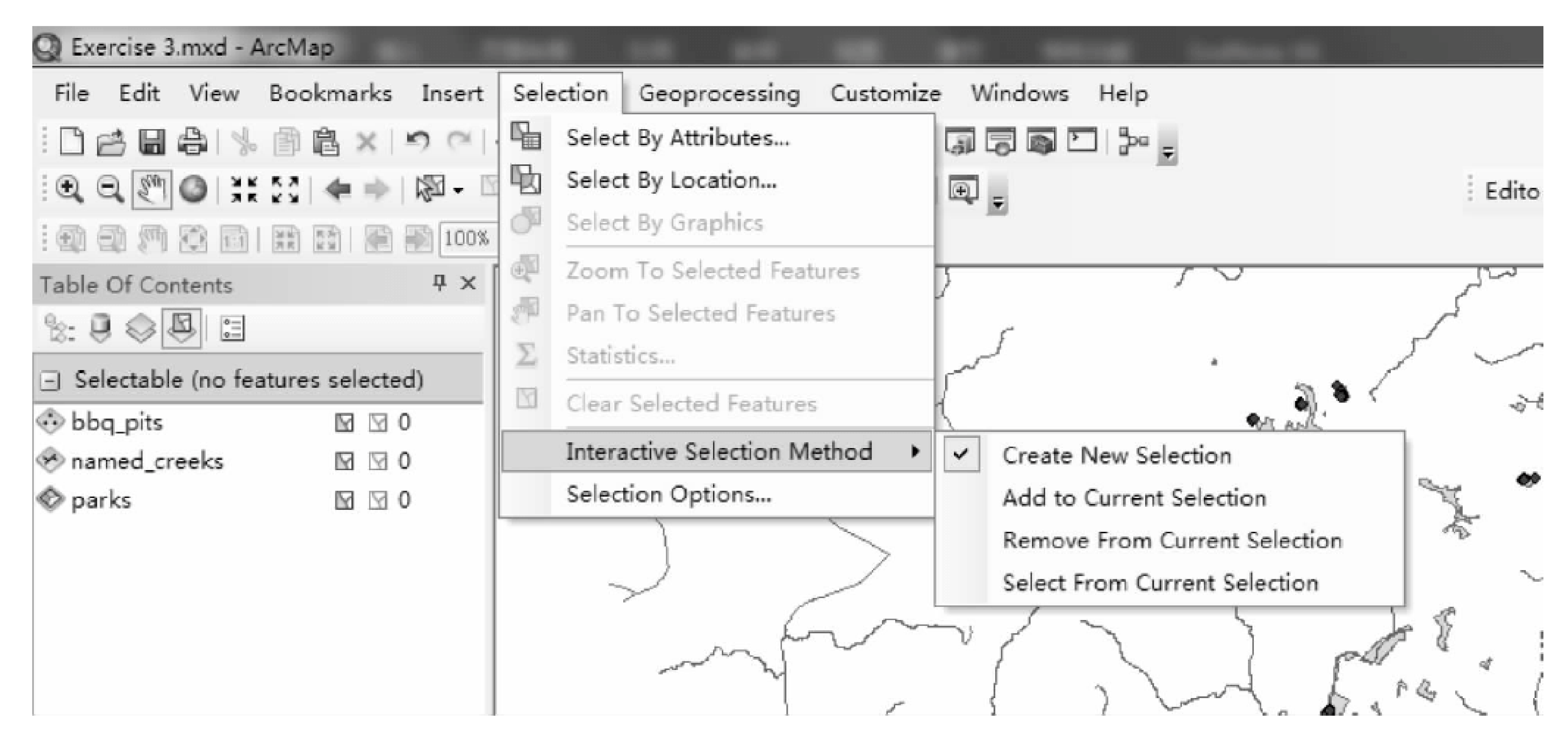


图 3-11　交互式选择方法

选择选项卡允许用户设置一些全局通用的选择选项，比如容差、被选要素显示的颜色等，其中最常设置的是交互式选择选项，该选项与以图形方式进行选择的操作关系密切，决定了被选要素是部分位于、完全位于，还是完全包含于图形中（见图 3-12）。

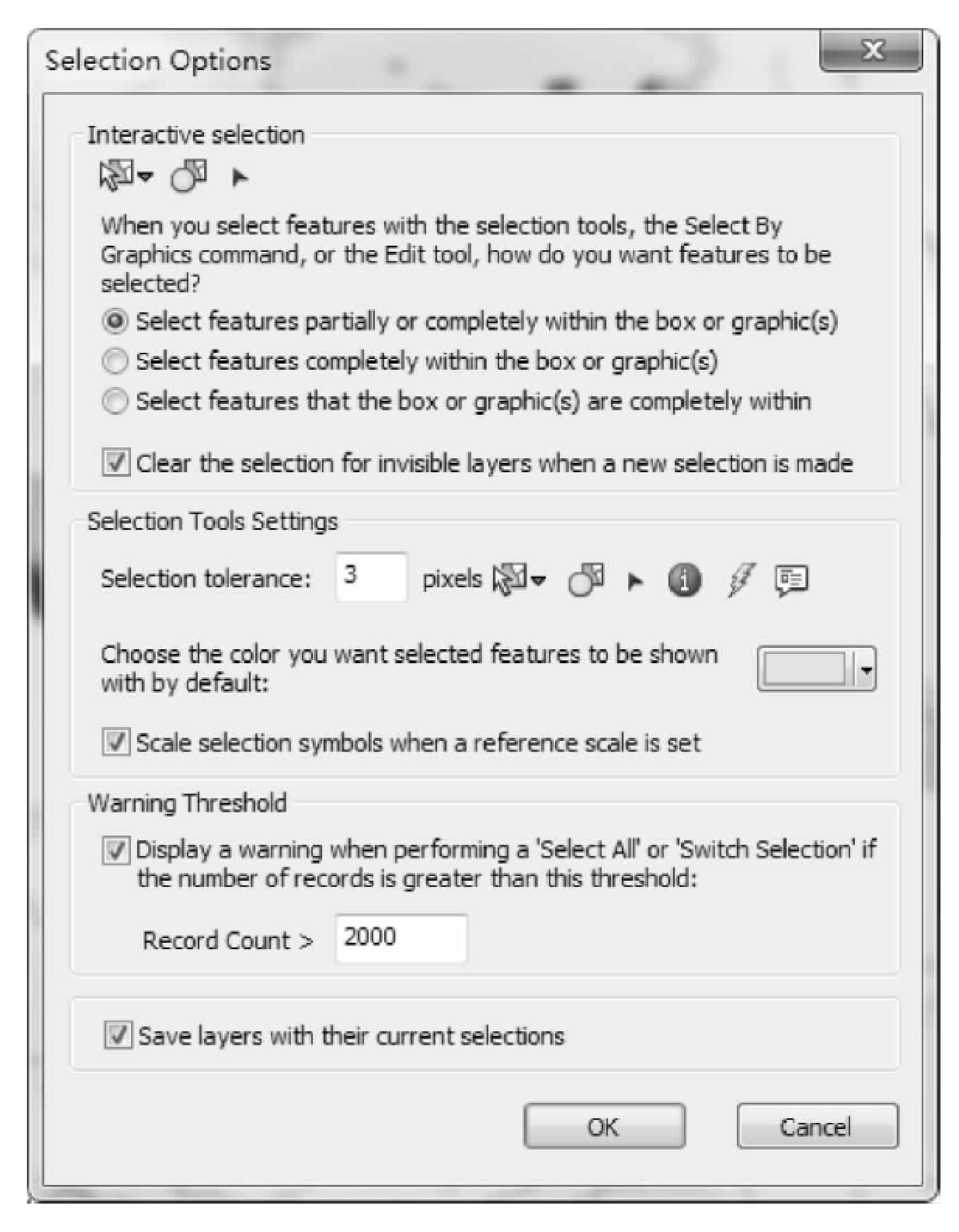


图 3-12　选择选项卡

(3) 使用 bbq_pits 图层属性表，查找并选择位于 Beverly S. Scheffield Northwest 公园内的 bbq 点，将数据视图缩放至选择的要素。

在内容列表中右键单击 bbq_pits 图层，打开属性表(见图 3-13)，可以看到属性表中包含“PARK_NAME”字段，记录了每个 bbq 点所在的公园名称。右键单击该属性字段，选择升序排列，该字段是英文文本，因此属性表中的所有记录将按照“PARK_NAME”字段的首字母顺序，从 A 到 Z 排序，这样就能非常方便地找到 PARK_NAME 等于 Beverly S. Scheffield Northwest 的记录了。

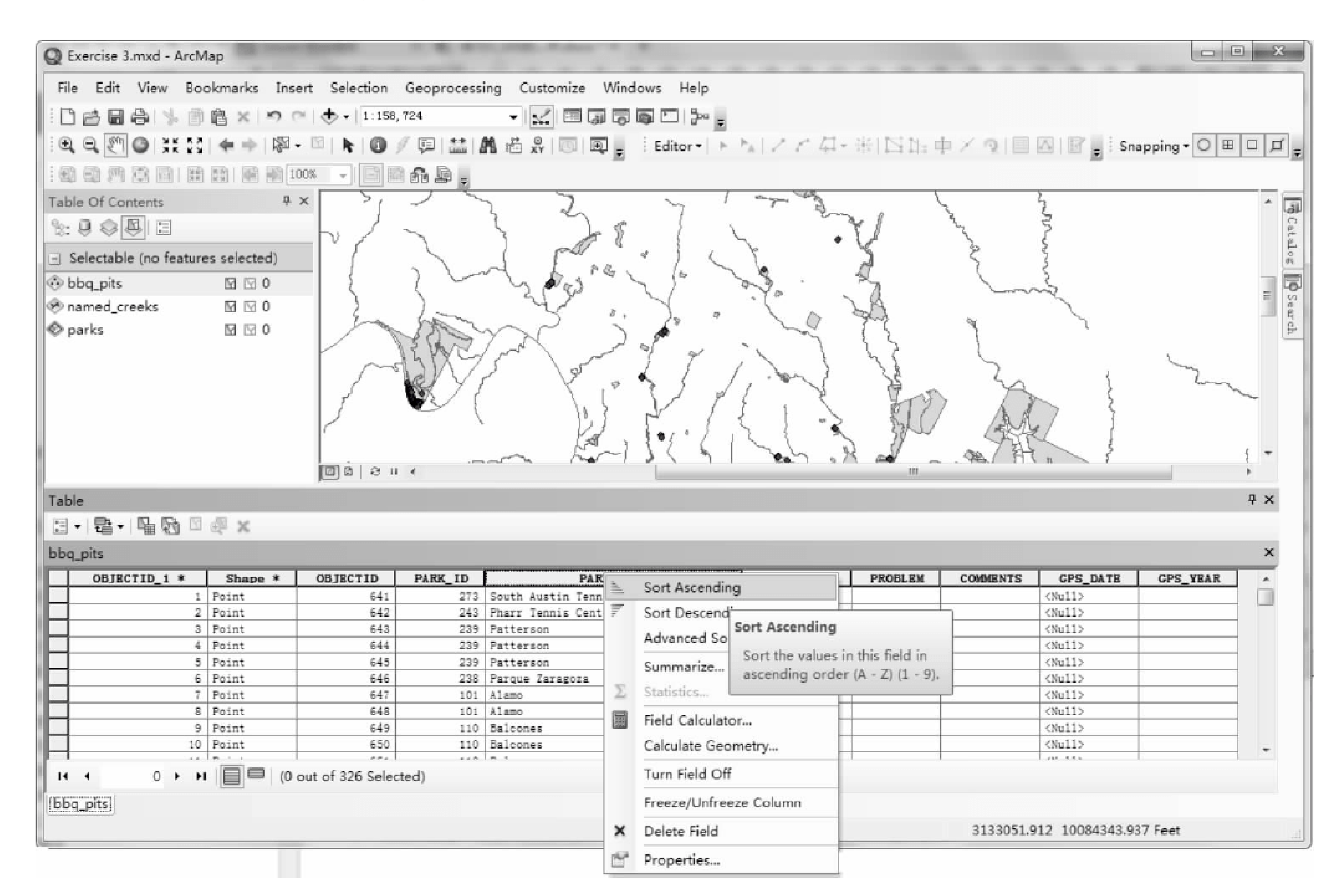


图 3-13 使用属性表查询

在属性表中选择 PARK_NAME 等于 Beverly S. Scheffield Northwest 的记录，共 8 条。可以看到内容列表和数据框均发生了相应的变化，在内容列表 bbq_pits 图层下方，出现了 8 行记录，在数据框中则出现了一些蓝色的点，这表明在属性表中选择的记录，会在地图中同步被标示，从而实现同时查阅空间实体的空间信息和属性信息的目的，这就是 ArcGIS 的交互查询功能。右键单击内容列表中 bbq_pits 图层，选择“缩放到选择的要素”，此时可以在数据框中清楚显示出被选中的 8 个 bbq 点要素。

(4) 在(3)的基础上，使用“选择要素”工具，以河流 SHOAL CREEK 与公园 Beverly S. Scheffield Northwes 边界最北边的交点为圆心，选择据此交点 600feet 以内的 bbq 点。

在交互式选择方法中勾选“从当前选择内容中选择(Select From Current Selection)”，则接下来的选择操作只针对步骤 3)中选中的 8 个点要素(见图 3-14 和图 3-15)。

利用选择要素工具中的“按圆形选择(Select by Circle)”，单击河流 SHOAL CREEK 与公园 Beverly S. Scheffield Northwes 边界最北边的交点，并拖动鼠标，跟随鼠标移动会

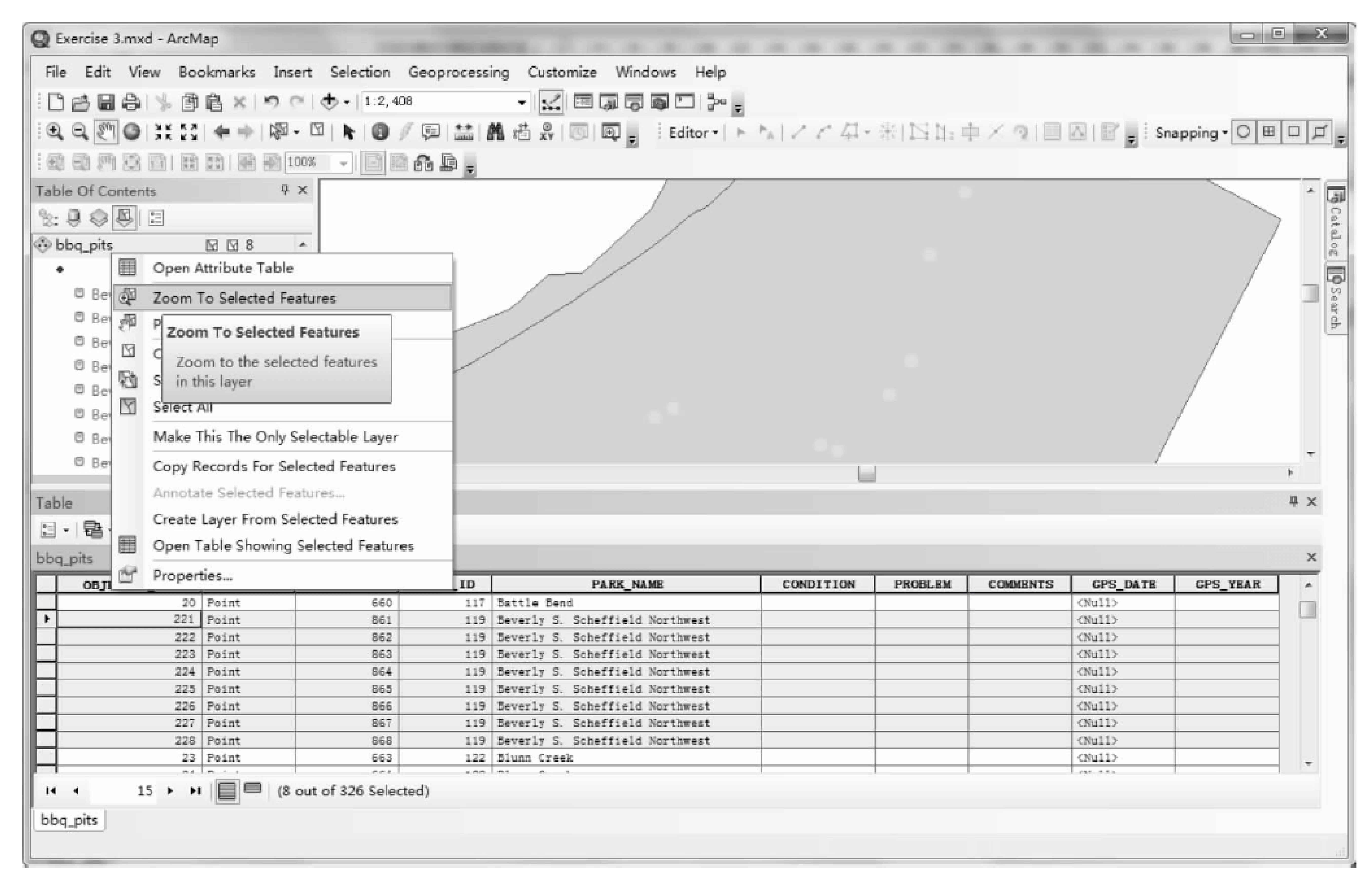


图 3-14　交互查询

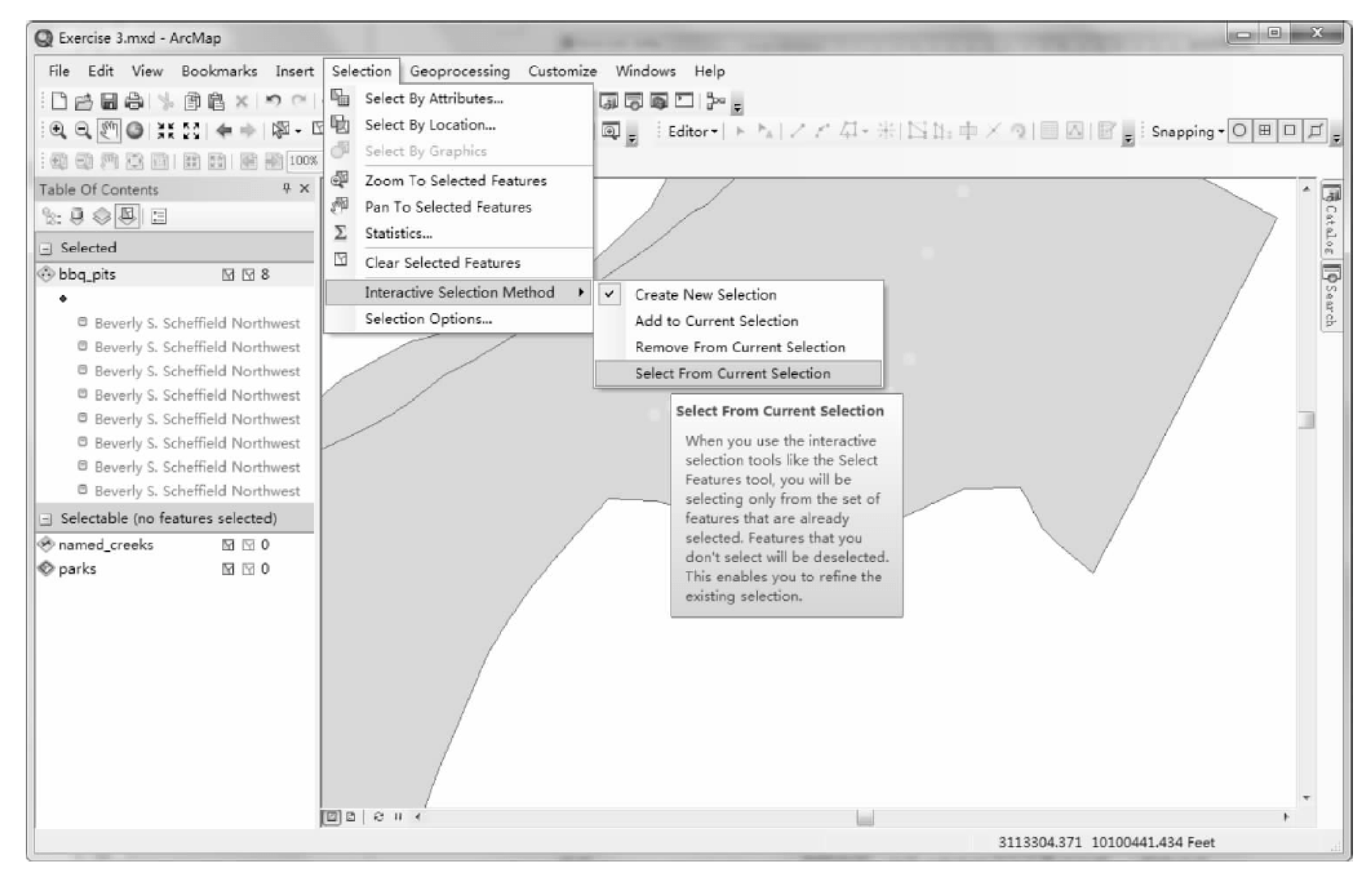


图 3-15　交互式选择——“从当前选择内容中选择”

出现一个圆形，此时使用“Shift＋r”快捷键可以直接输入半径 600，单位默认为英尺(feet)，回车后，选中以河流 SHOAL CREEK 与公园 Beverly S. Scheffield Northwes 边界最北边的交点为圆心，据此交点 600feet 以内的 bbq 点，共 2 个(见图 3-16)。

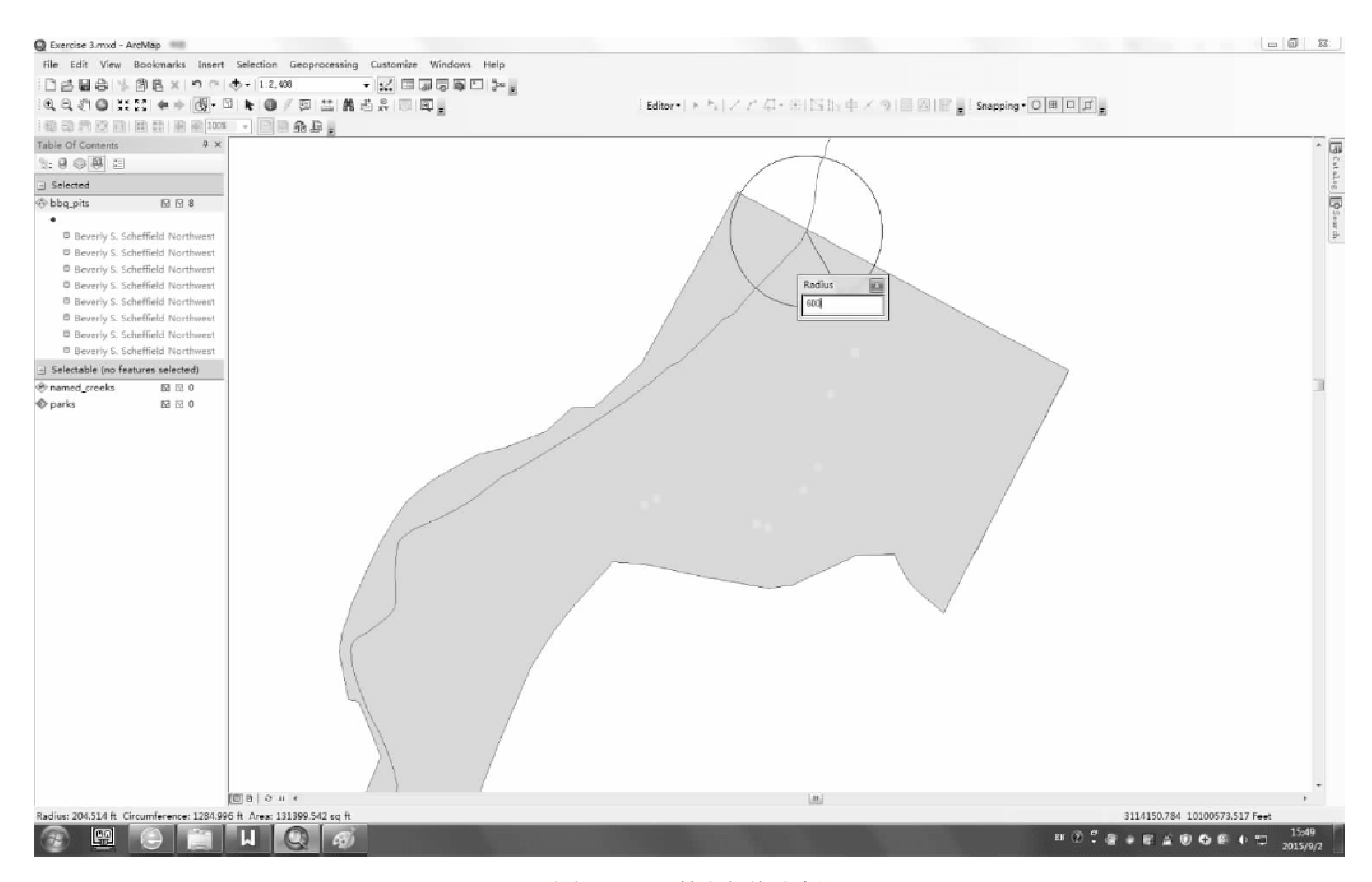


图 3-16　按圆形选择

本实验提示 1：如果希望比较精确地找到河流 SHOAL CREEK 与公园 Beverly S. Scheffield Northwes 边界最北边的交点，可以使用编辑、放大和捕捉工具，画出一条与公园 Beverly S. Scheffield Northwes 边界重合且与河流 SHOAL CREEK 相交的线段，然后利用捕捉工具捕捉该线段与河流 SHOAL CREEK 的交点，该交点也是公园边界与河流的交点。

2. 使用“查找”和“查找路径”工具

使用 arteries、streets、hospitals 图层数据。“查找”和“查找路径”工具如图 3-17 中方框所示。

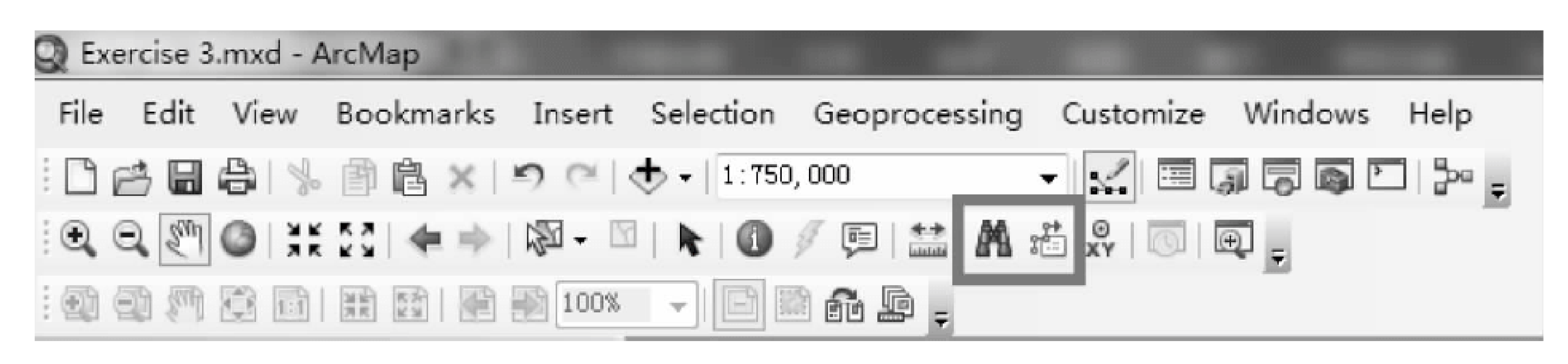


图 3-17　“查找”和“查找路径”工具

打开“查找”工具对话框。如图 3-18 所示，查找工具提供了三个选项卡，可以根据属性(Feature)、位置(Location)或线性参考(Linear Referencing)三种参数进行查找。

(1) 根据属性查找并选择要素，比如查找“IH 35”主干道。

选择查找工具的“属性(Feature)”选项卡，输入待查找的属性关键字，比如“IH 35”，并设定查找条件，比如在所有可见图层的所有字段中查找，如图 3-19 所示，查找工具下方出现了与“IH 35”匹配的 102 条记录，单击其中任一记录，地图上均会以绿色闪现出与之

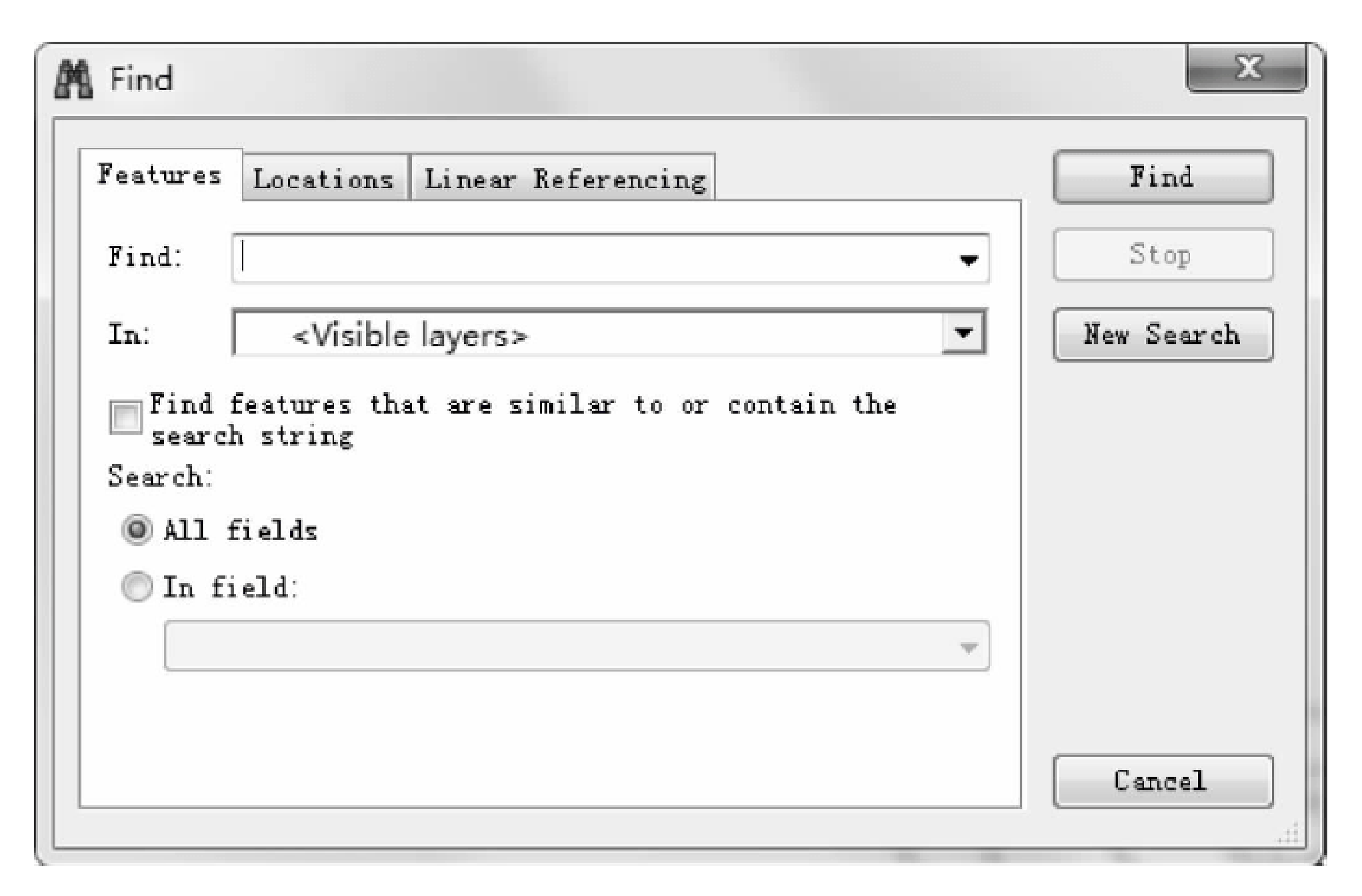


图 3-18　“查找”工具

对应的要素，右键单击任一记录，可以使用多种快捷操作，比如缩放到该要素、移动到该要素、选中该要素等。该选项卡提供了一种便捷的在所有图层中根据属性字段查找要素的方法。

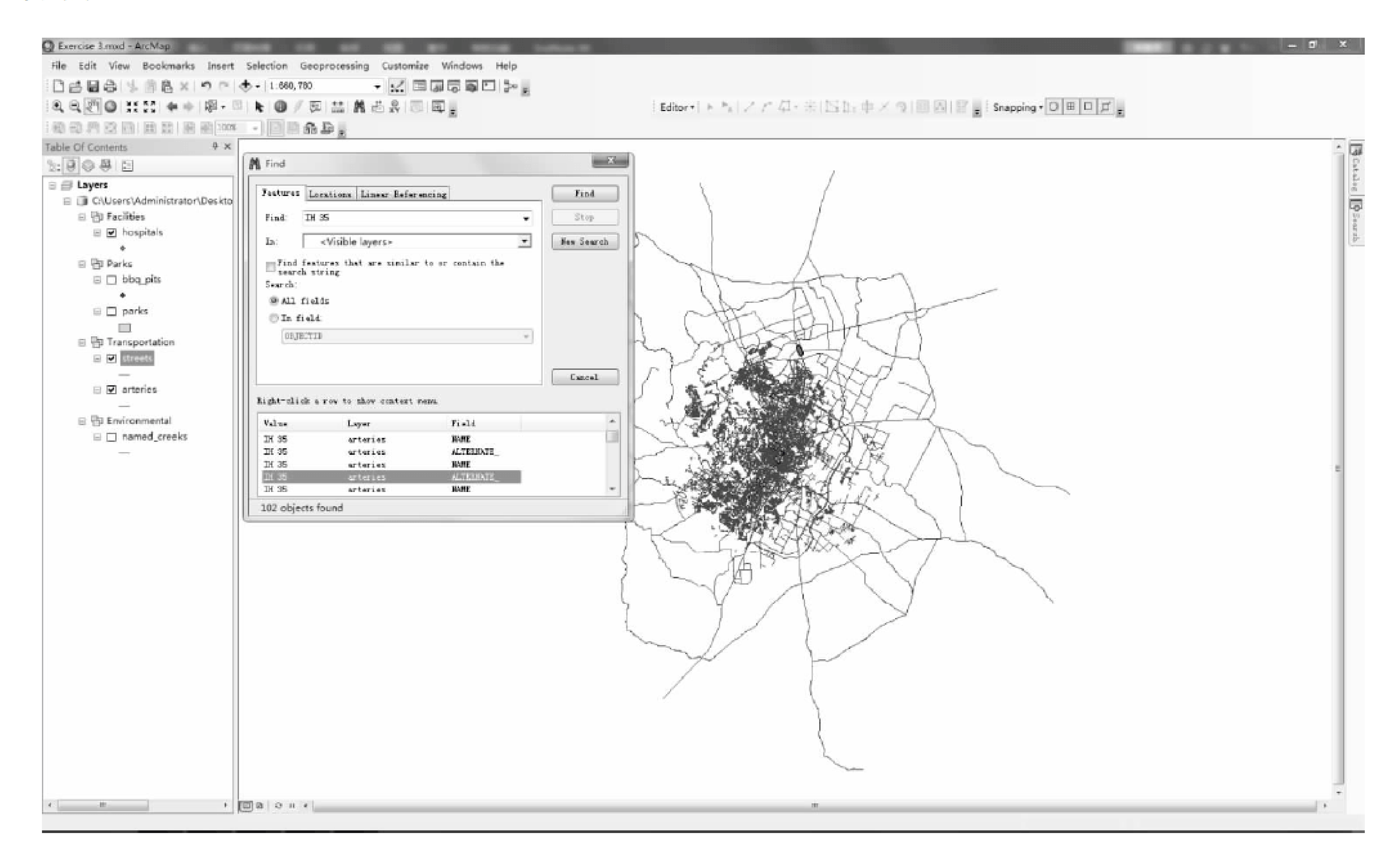


图 3-19　使用“查找”工具按属性查找

(2) 打开 hospital 属性表，查看第一个医院 Round Schools Rehab Center，其完整地址为 1106W Dittmar Rd, Austin, TX, 78745-6328，尝试使用该地址在地图上找到该医院。

选择查找工具的“位置(Location)”选项卡，在“选择定位器(Choose a Locator)”中使用 Austin. gdb 内的地址定位器“streets_CreateAddressLocator”，该地址定位器是以 streets 要素类为主参考数据创建的。根据上述地址查询要素，修改地址的详细程度，观察

候选项的变化。可以看到,当地址不完整时,ArcGIS 会定位失败或者查找到多个候选项,随着地址详细程度增加,定位会越来越准确,最终找到最匹配的位置。如图 3-20 所示。

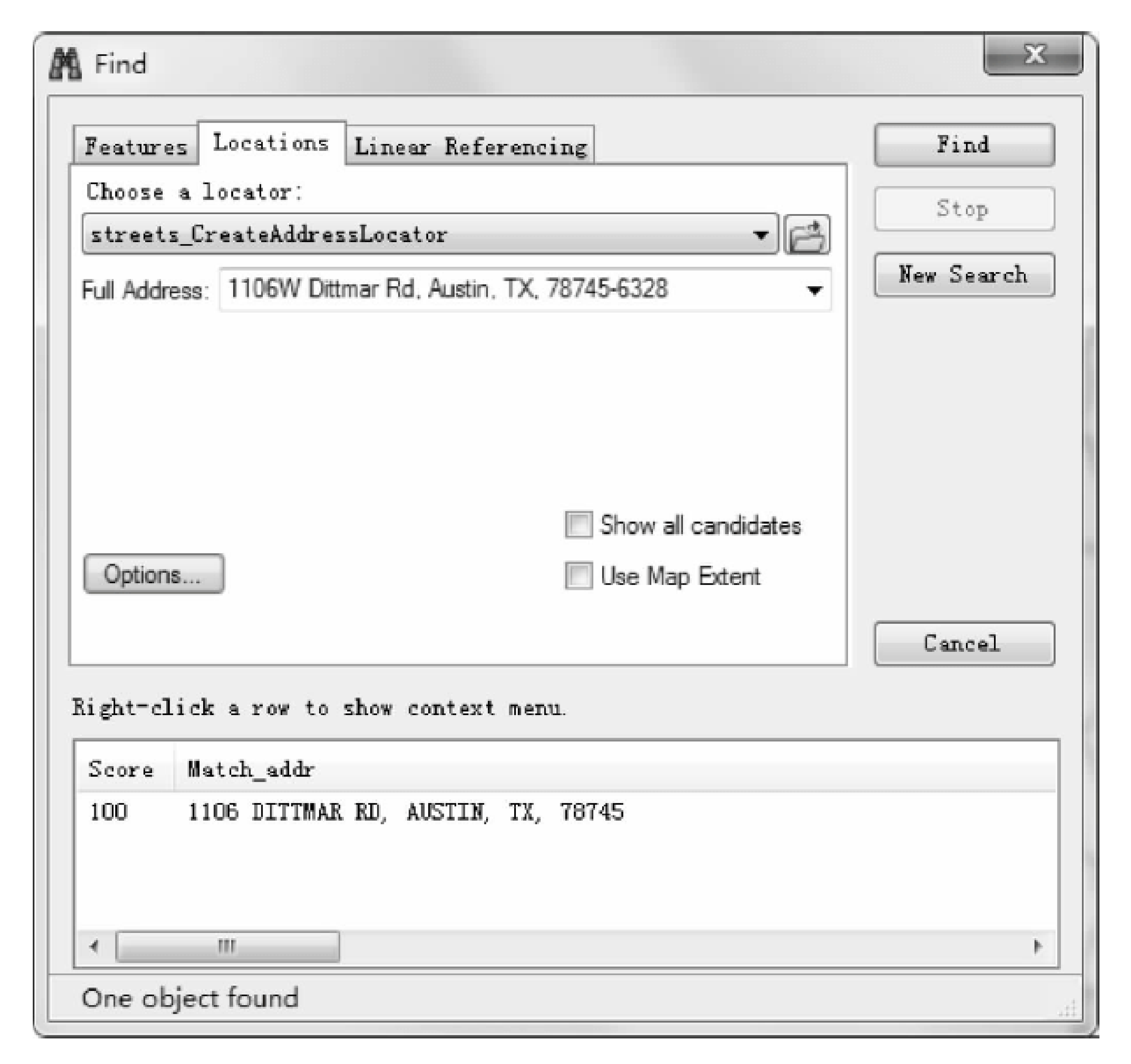


图 3-20　使用“查找”工具按位置查找

右键单击匹配度最高的记录,缩放到该要素。同时在 Hospitals 要素属性表中选中第一个医院 Round Schools Rehab Center,观察地图,可以看到通过属性表查询与通过地址匹配查询得到的结果有偏差(见图 3-21)。回想一下预备知识里介绍的地理编码的原理,思考一下为何会产生这种偏差。

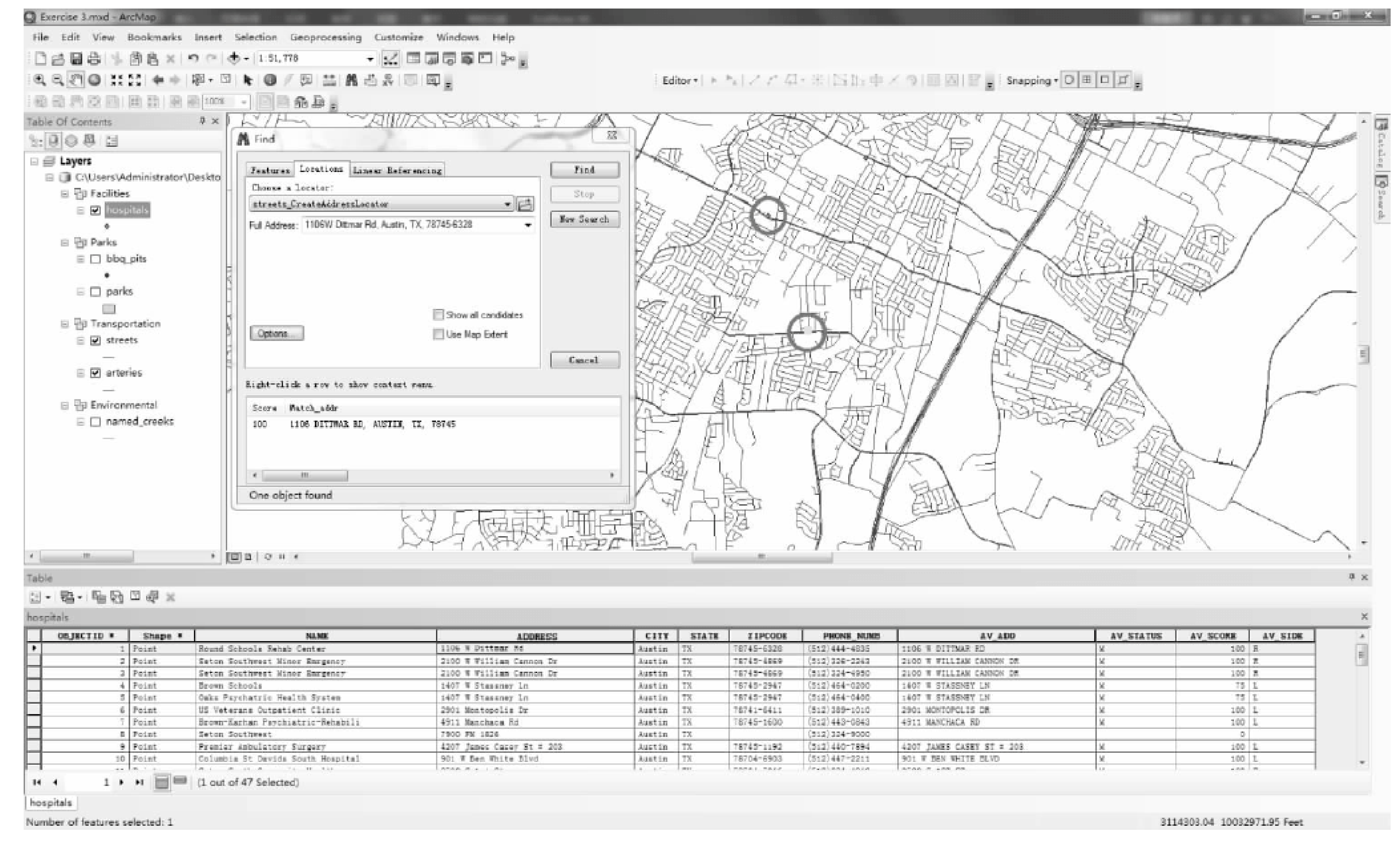


图 3-21　使用“查找”工具按属性查找与按位置查找的偏差

清除选择，恢复全局视图，打开“查找路径”工具对话框，如图 3-22 所示。查找路径工具提供了四个选项卡，分别用于设置停靠点（Stop）、障碍点（Barriers）、查找选项（Options），以及显示路径方向（Directions）。



图 3-22　“查找路径”工具

（3）使用 ArcGIS Online 的北美路径服务和地址定位器服务，并选定路径成本为“时间（Time）”，也就是说查找出来的路径将是停靠点之间所需时间最短的路径（见图 3-23）。

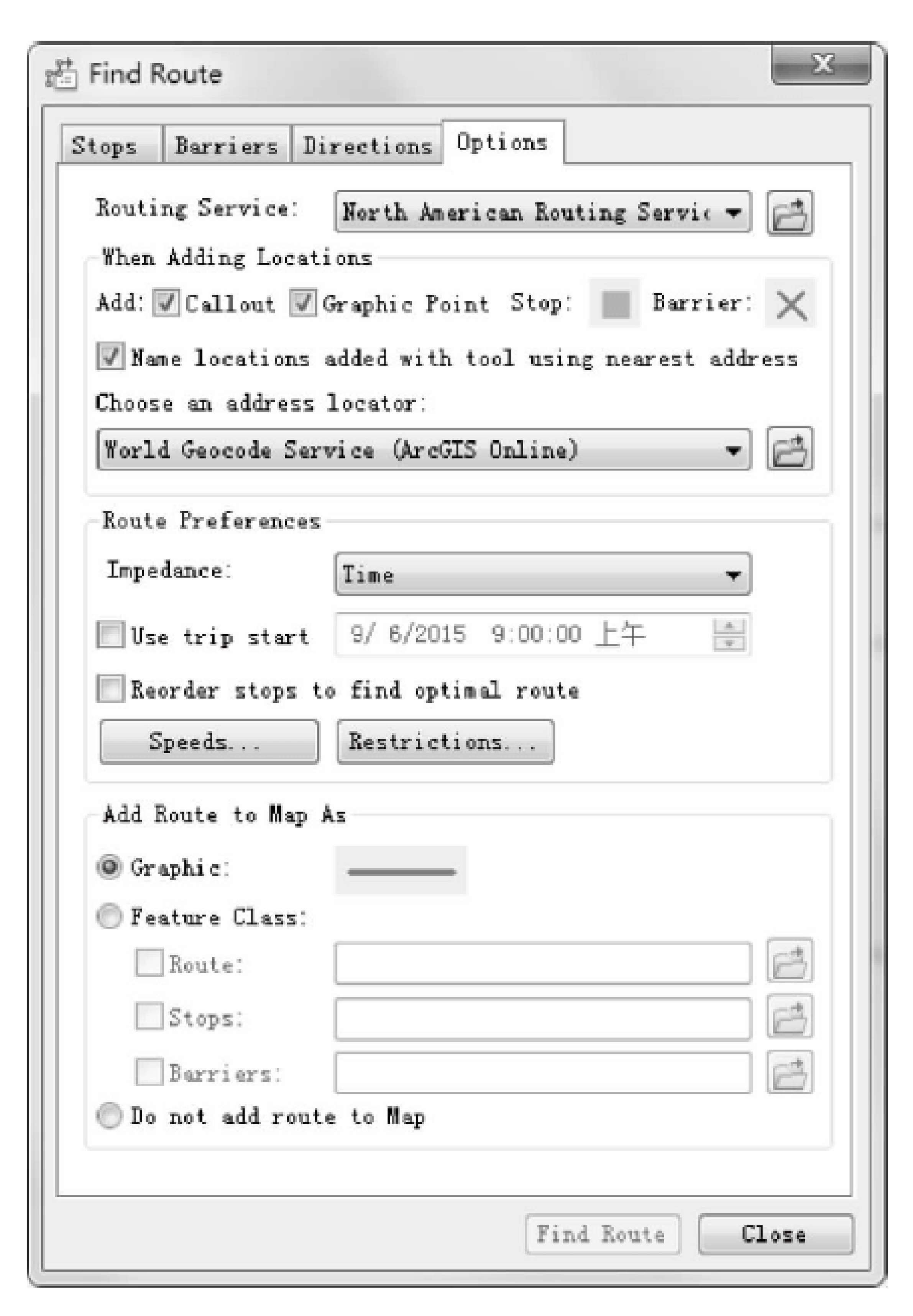


图 3-23　设置“查找路径”工具参数

(4) 选择两个医院添加为停靠点,并在两个医院中间某条路径上添加一个障碍点。

查找路径工具提供了三种方法添加停靠点或者障碍点,分别是通过在地图上单击添加,通过输入地址添加和通过获取点图形/点要素添加,如图 3-24 中方框所示。

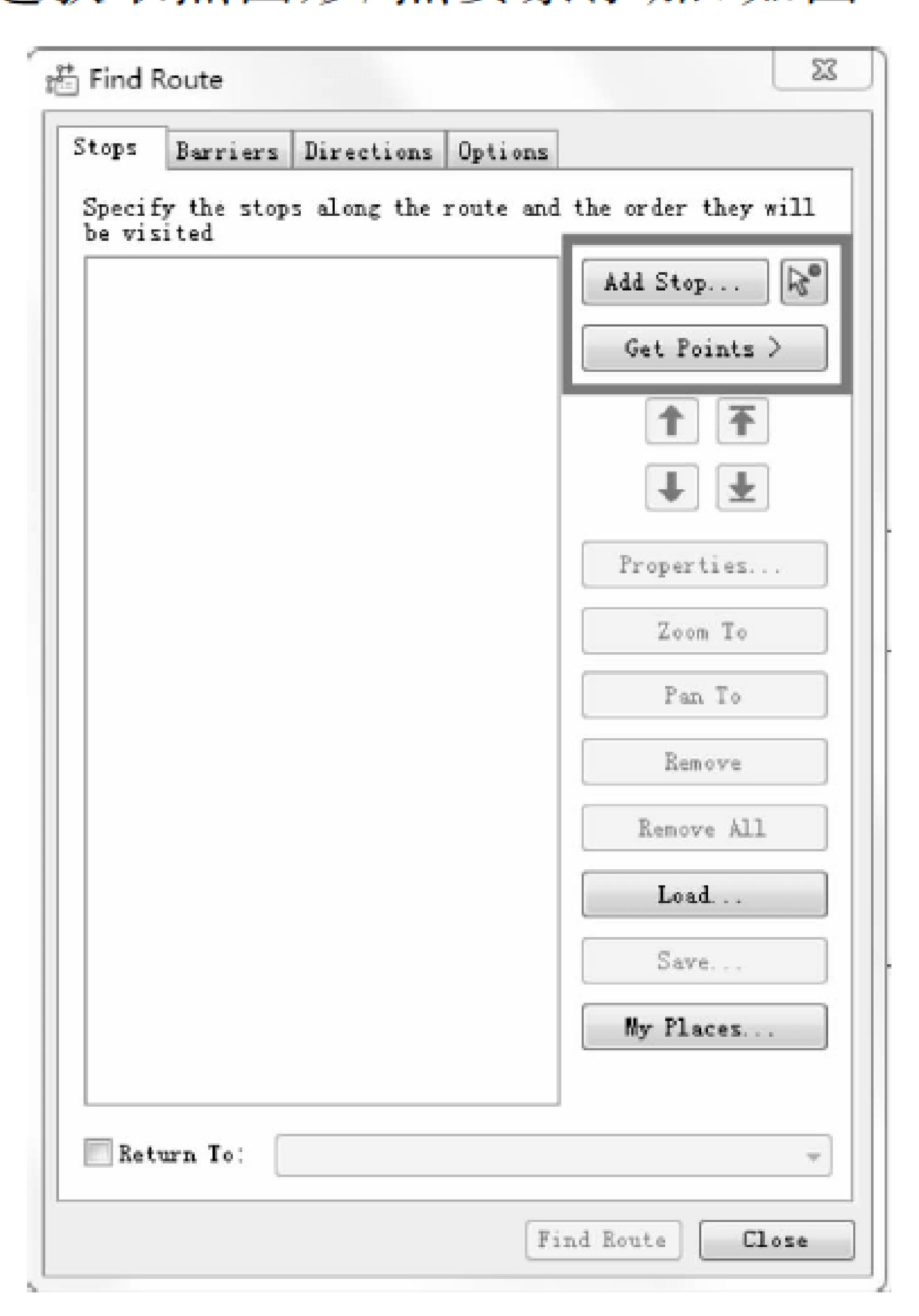


图 3-24　三种添加停靠点的方法

以添加停靠点(见图 3-25)为例,单击停靠点(Stops)选项卡上的添加停靠点(Add Stop)按钮,在弹出的查找工具中输入地址,比如 1106W Dittmar Rd, Austin, TX, 78745-6328,查找到匹配度最高的一条记录,右键单击该记录,选中"作为停靠点添加到查找路径(Add as Stop to Find Route)",则该地址对应的位置将被添加到停靠点(Stops)中。如果想将某个图层中所有要素或者所选要素全部添加为停靠点,则可以使用"获取点(Get Points)"按钮,而如果想在地图上通过直接单击获取停靠点,则可以使用通过单击添加停靠点工具。

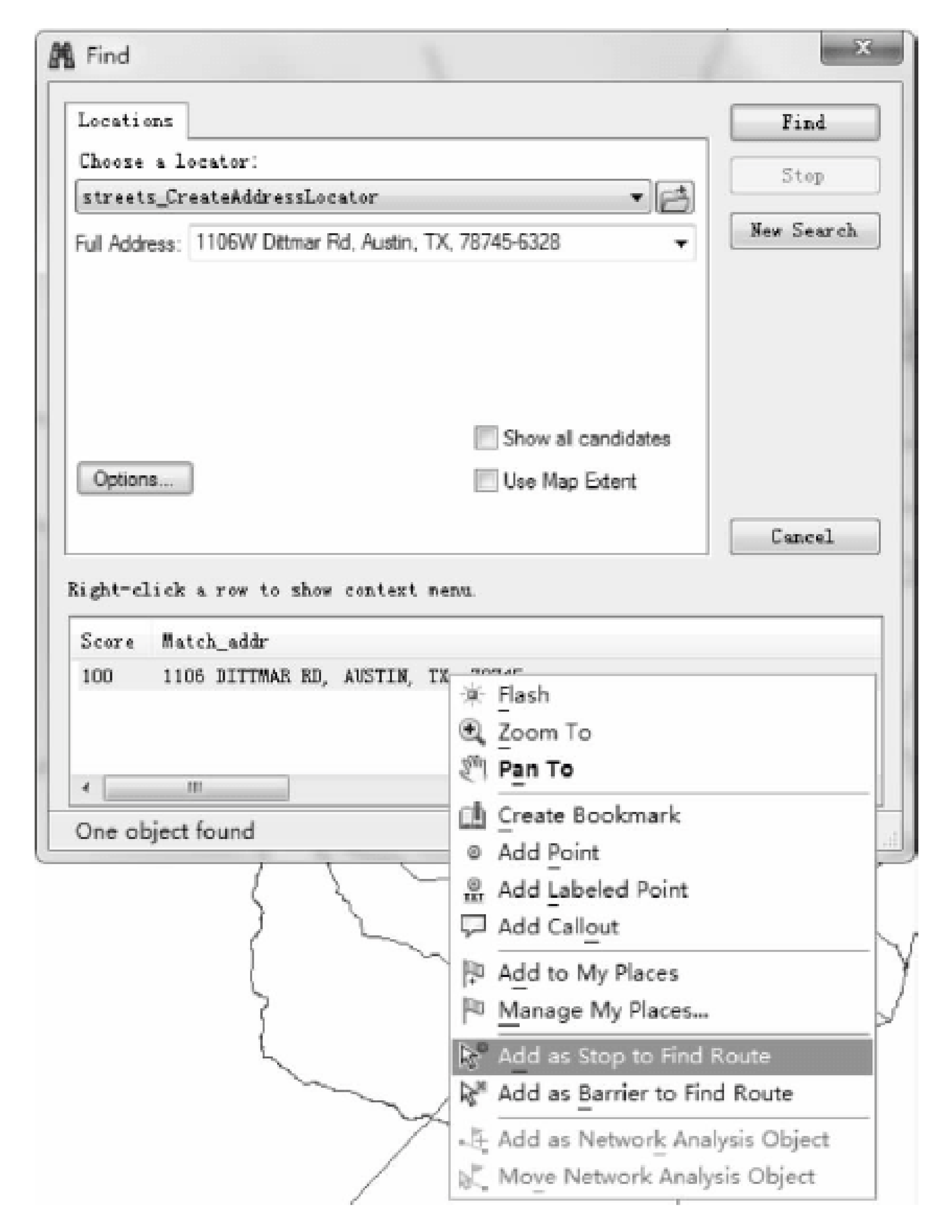


图 3-25　添加停靠点

（5）查找从一个医院转运至另一个医院的最快路径。

打开医院属性表，随意选择两条记录，将地图缩放至所选要素。在查找路径工具中单击“获取点(Get Points)|获取点要素(Get Point Features)”，在弹出的窗口中选择“医院图层”，并选择“获取所选点(Get Selected Points)”，这两个被选中的医院将出现在停靠点(Stops)选项卡中，单击选项卡下方的“查找路径(Find Route)”按钮，经过一小段时间运算后，地图上将显示从一个医院转运到另一个医院所需时间最短的路径(见图 3-26)。尝试通过单击直接在该路径上添加一个障碍点，再次单击“查找路径”按钮，观察路径的变化。

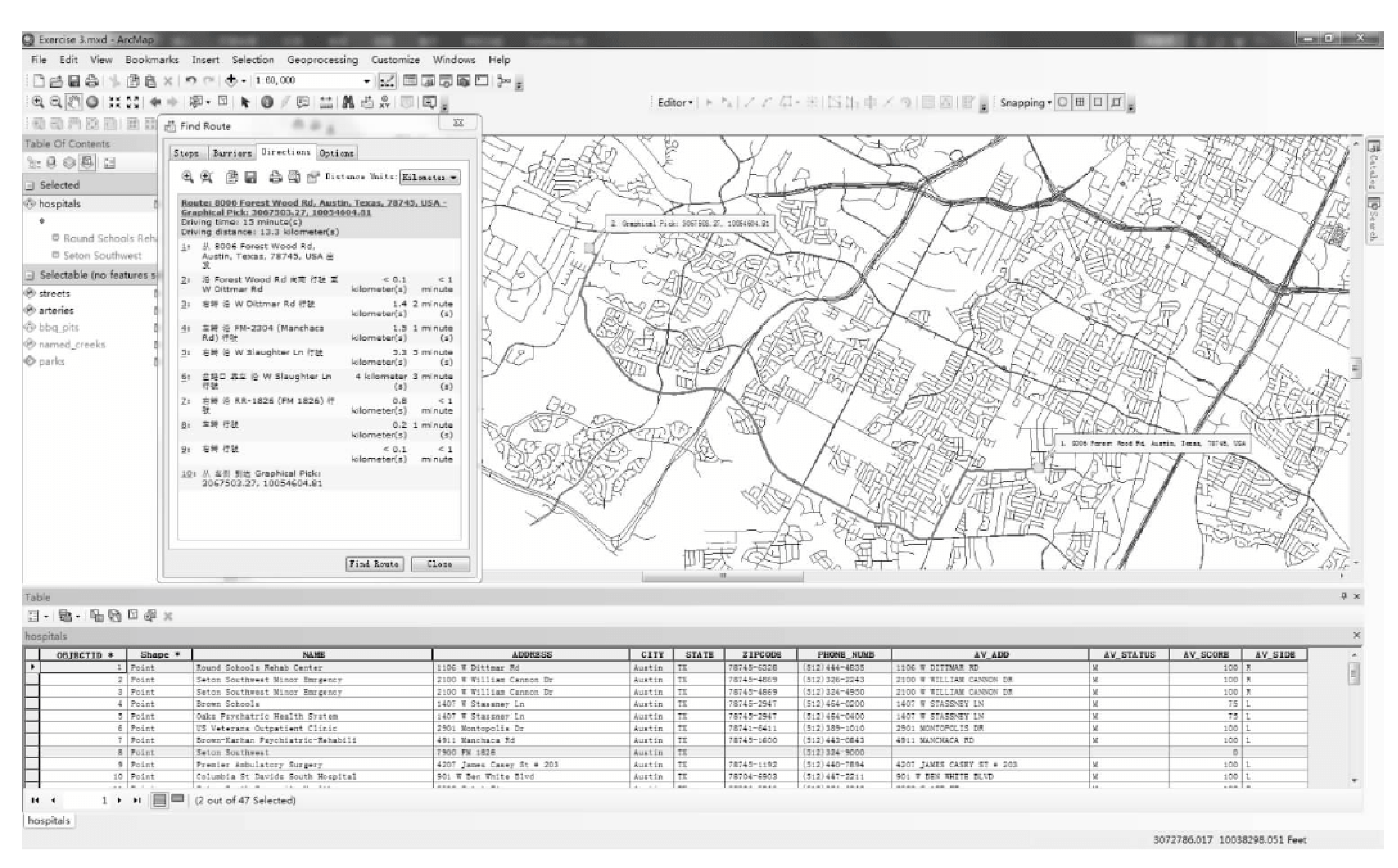


图 3-26　使用“查找路径”工具查找最快路径

3. 基于空间关系的查询

阅读预备知识，了解各种空间关系。使用 parks、overlooks、parking_lots、restrooms、name_creeks 图层数据。清除选择，恢复全局视图，将内容列表改为按选择列出。

假设你想去公园游玩，希望公园满足以下条件：

（1）有河流流经；

（2）有瞭望台、停车场和休息室；

（3）瞭望台距离公园边界至少 500 英尺(1 英尺＝0.3048 米)；

（4）公园内休息室设在停车场 200 英尺以外。

上面四个条件涉及了相交、包含、距离等三种空间关系。使用“按位置选择”工具完成查询操作。

单击菜单“选择(Select)|按位置选择(Select by Location)”，打开按位置选择对话框，如图 3-27 所示。在该对话框中，用户可以设置选择方法、目标图层、源图层，以及目标图层与源图层之间的空间关系。

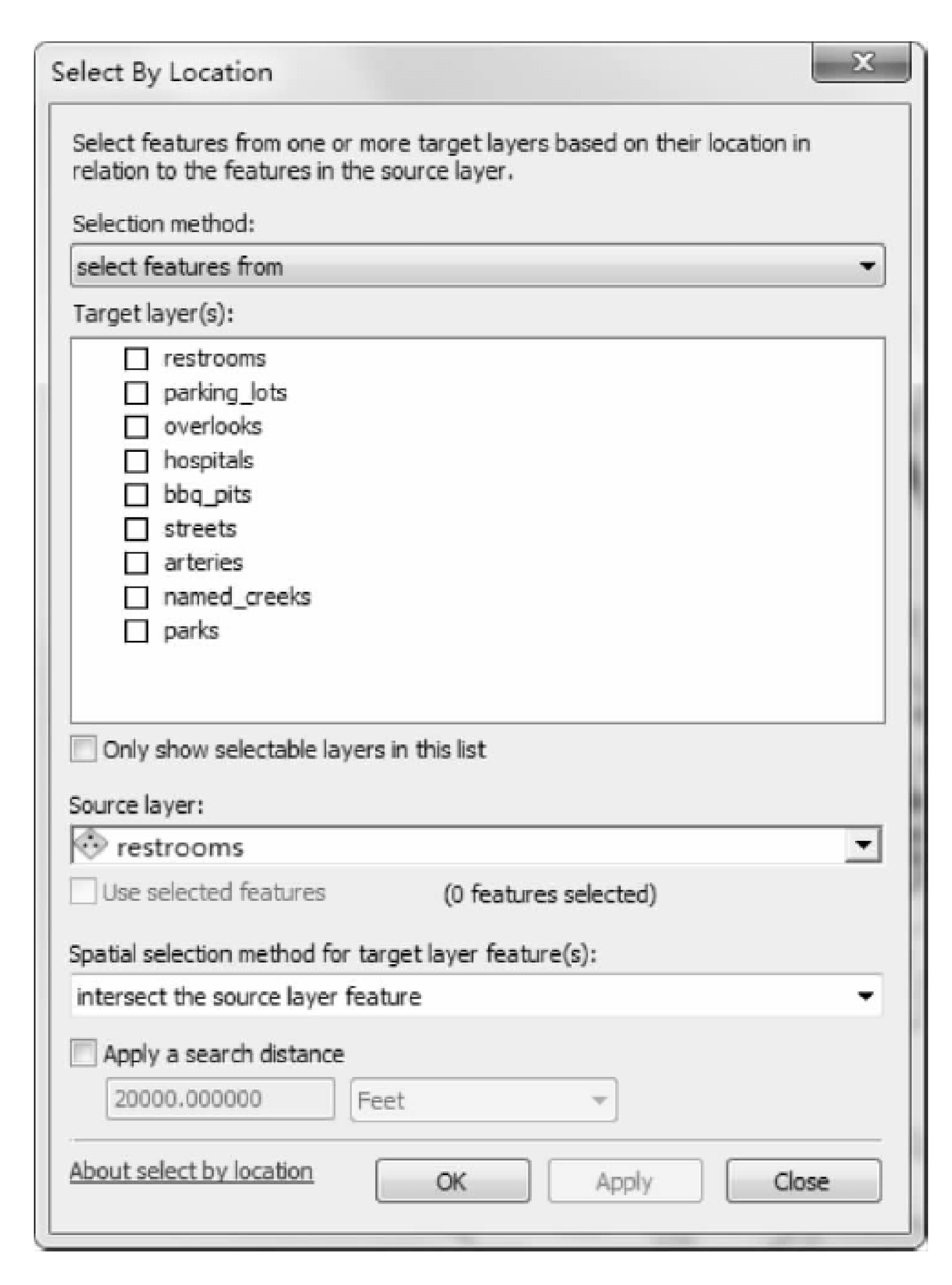


图 3-27　按位置选择对话框

逐条解析题意。

(1) 有河流流经，即河流与公园相交，在目标图层中勾选“公园(parts)”，在源图层中勾选“河流(named_creeks)”，选中空间关系为“与源图层要素相交(intersect the source layer feature)”，单击“应用(Apply)”，观察内容列表和数据框，有 103 个公园被选中(见图 3-28)。

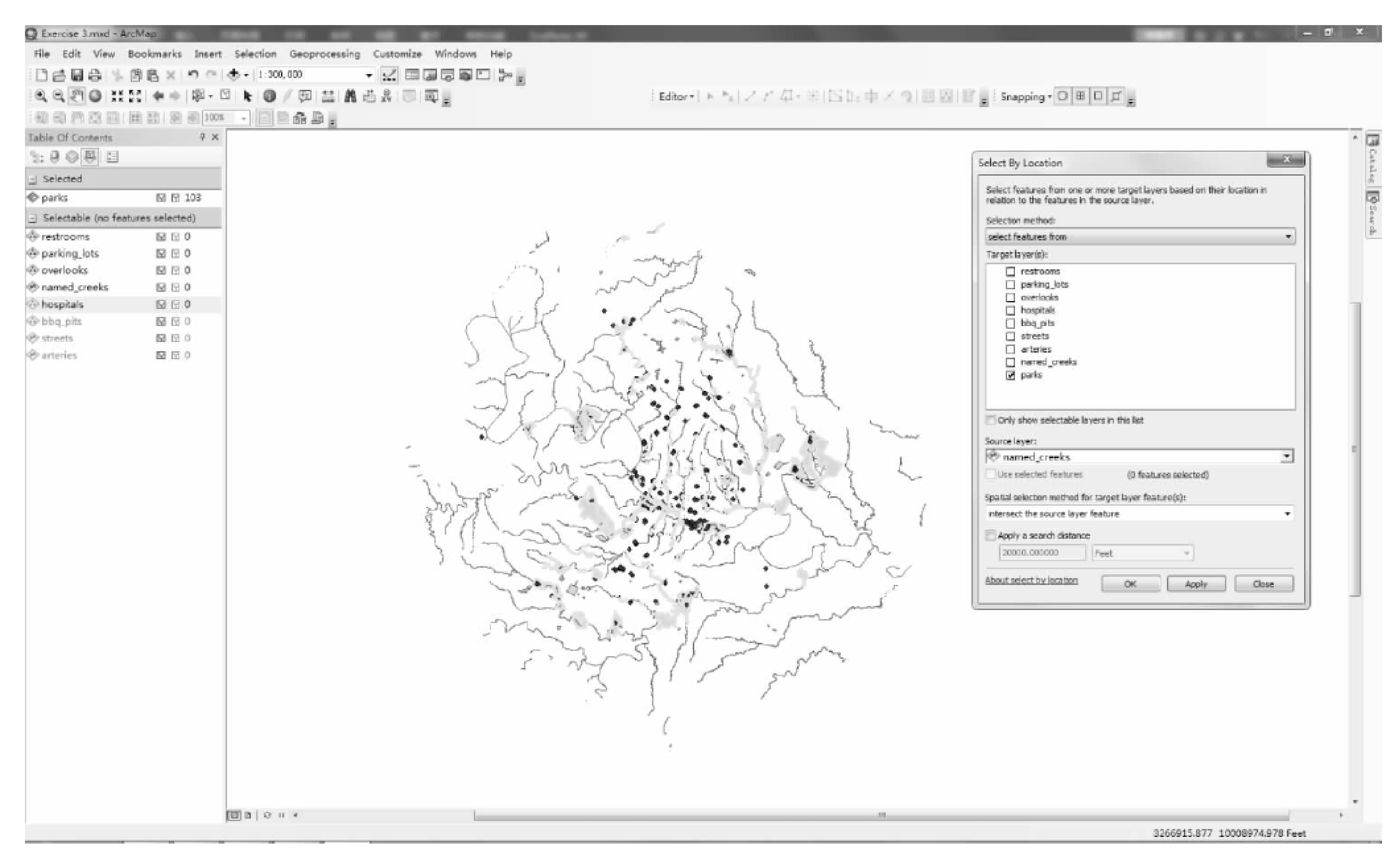


图 3-28　选出有河流经过的公园

(2) 有瞭望台、停车场和休息室，即公园包含瞭望台、停车场和休息室。将选择方法(Selection method)改为“从当前在以下图层中选择的要素中选择(select from the currently selected feature in)”，将源图层依次改为“瞭望台(overlooks)”、“停车场(parking_lots)”、“休息室(restrooms)”，将空间关系改为“包含源图层要素(contain the source layer feature)”，单击“应用(Apply)”，观察内容列表和数据框，有 8 个公园被选中(见图 3-29)。

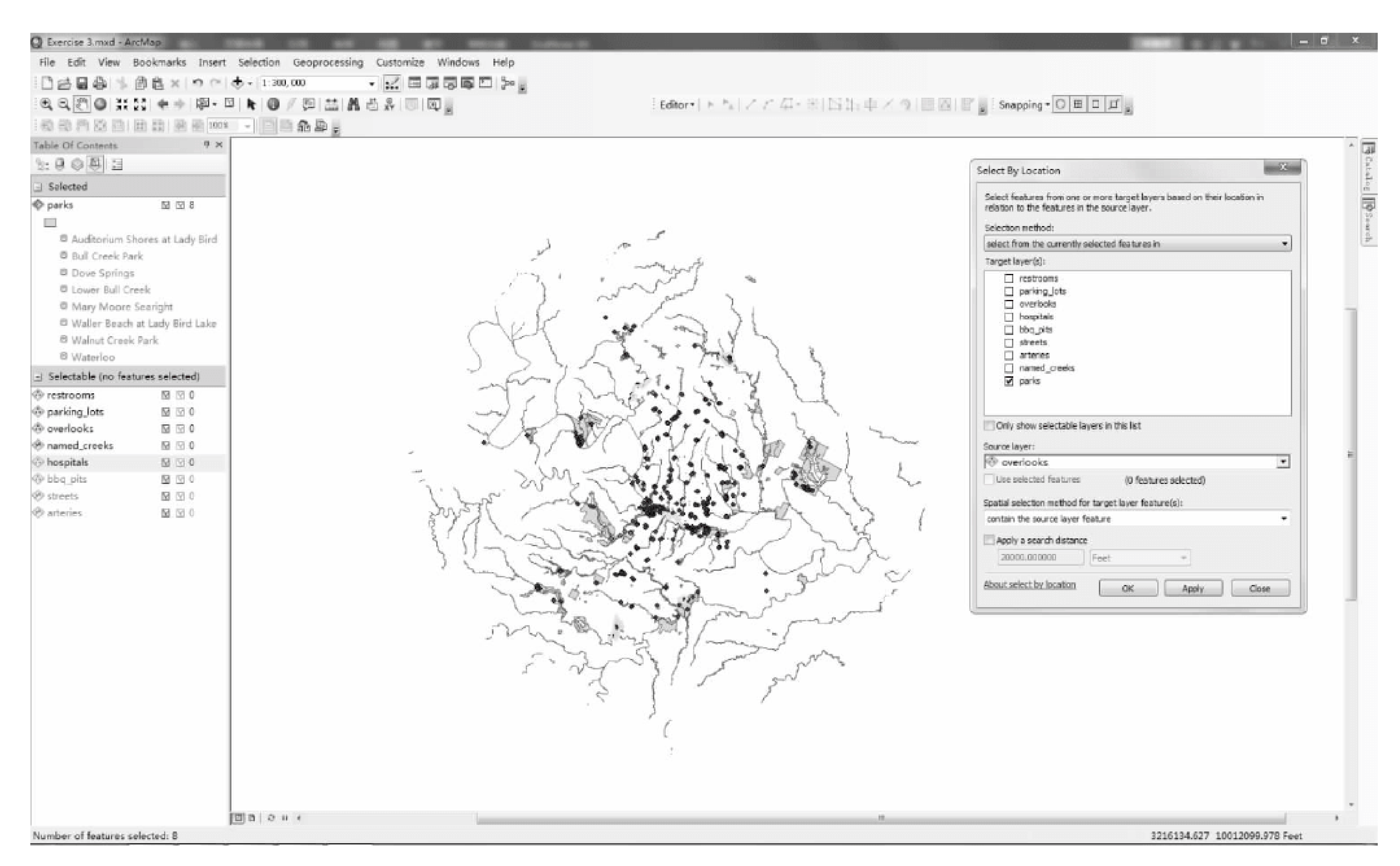


图 3-29 选出有河流经过且有瞭望台、停车场和休息室的公园

(3) 瞭望台距离公园边界至少 500 英尺。此处用到“按位置选择”工具中的“应用搜索距离”设置，该设置类似于缓冲区设置，保持(2)中的选择方法和包含关系不变，将源图层改为“瞭望台(overlooks)”，勾选“应用搜索距离(Apply a search distance)”，设置搜索距离为 500 英尺，单击“应用(Apply)”，此时只剩 2 个公园被选中。

(4) 公园内休息室设在停车场 200 英尺以外。首先要找出与停车场距离大于 200 英尺的休息室，将选择方法改为“添加到当前在以下图层中选择的要素(add to the currently selected feature in)”，目标图层改为“休息室(restrooms)”，将源图层改为“停车场(parking_lots)”，空间关系改为“在源图层要素的某一距离范围内(are within a distance of the source layer feature)”，设置搜索距离为 200 英尺，单击“应用(Apply)”，有 47 个休息室被选中。这 47 个休息室是在停车场 200 英尺以内的，而题意要求休息室在停车场 200 英尺以外，因此需要在内容列表中右键单击被选中的 restrooms 图层，选择“反选(Switch Selection)”，得到 76 个距离停车场 200 英尺以外的休息室(见图 3-30)。

接下来要找到(3)中筛选出来的 2 个公园中，哪个公园内的休息室满足距离停车场 200 英尺以外。将选择方法(Selection method)改为“从当前在以下图层中选择的要素中选择(select from the currently selected feature in)”，目标图层改为“公园(parks)”，源图层改为“休息室(restrooms)”，同时勾选源图层下方的“使用被选择的要素(used selected

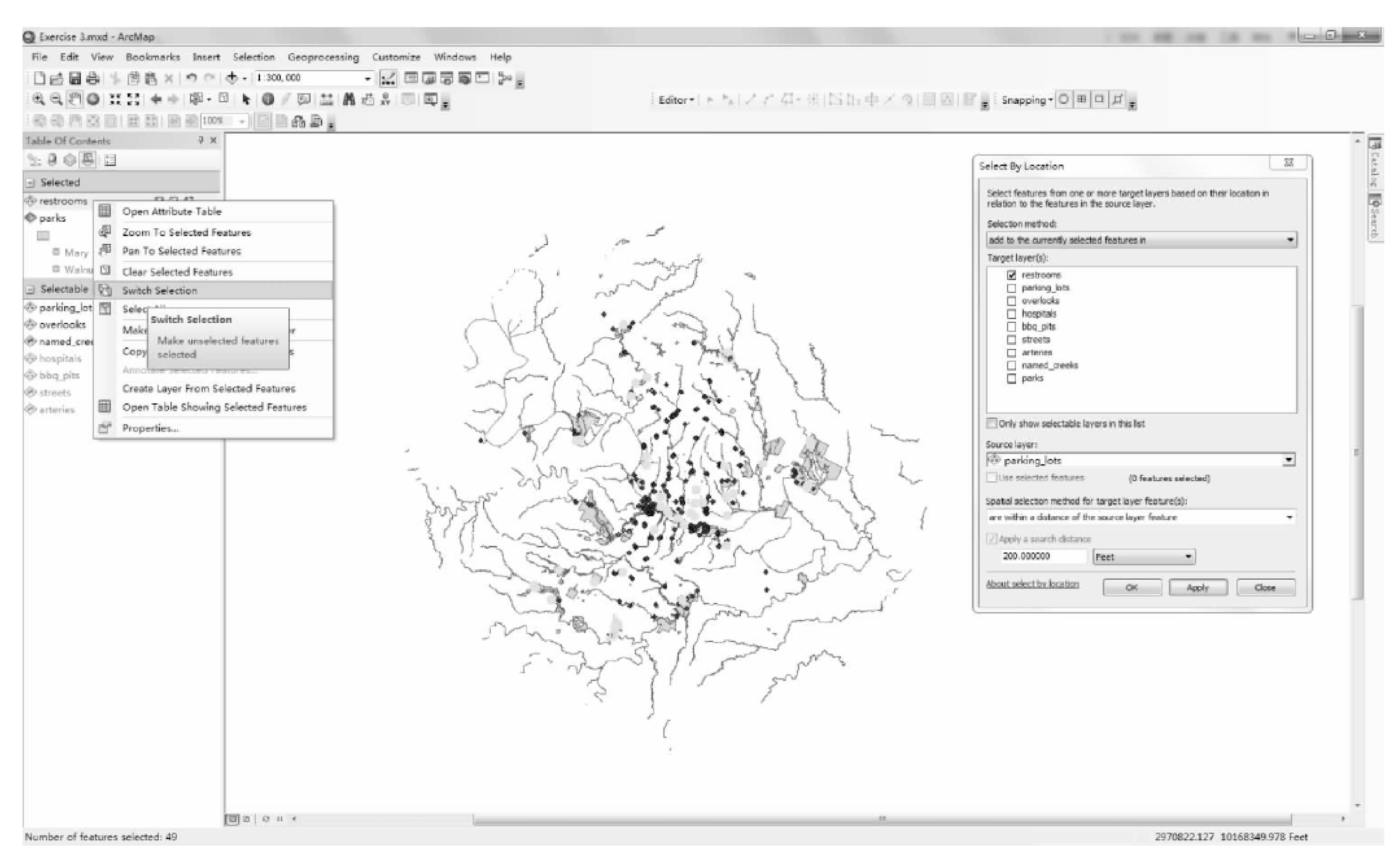


图 3-30　选出距离停车场 200 英尺外的休息室

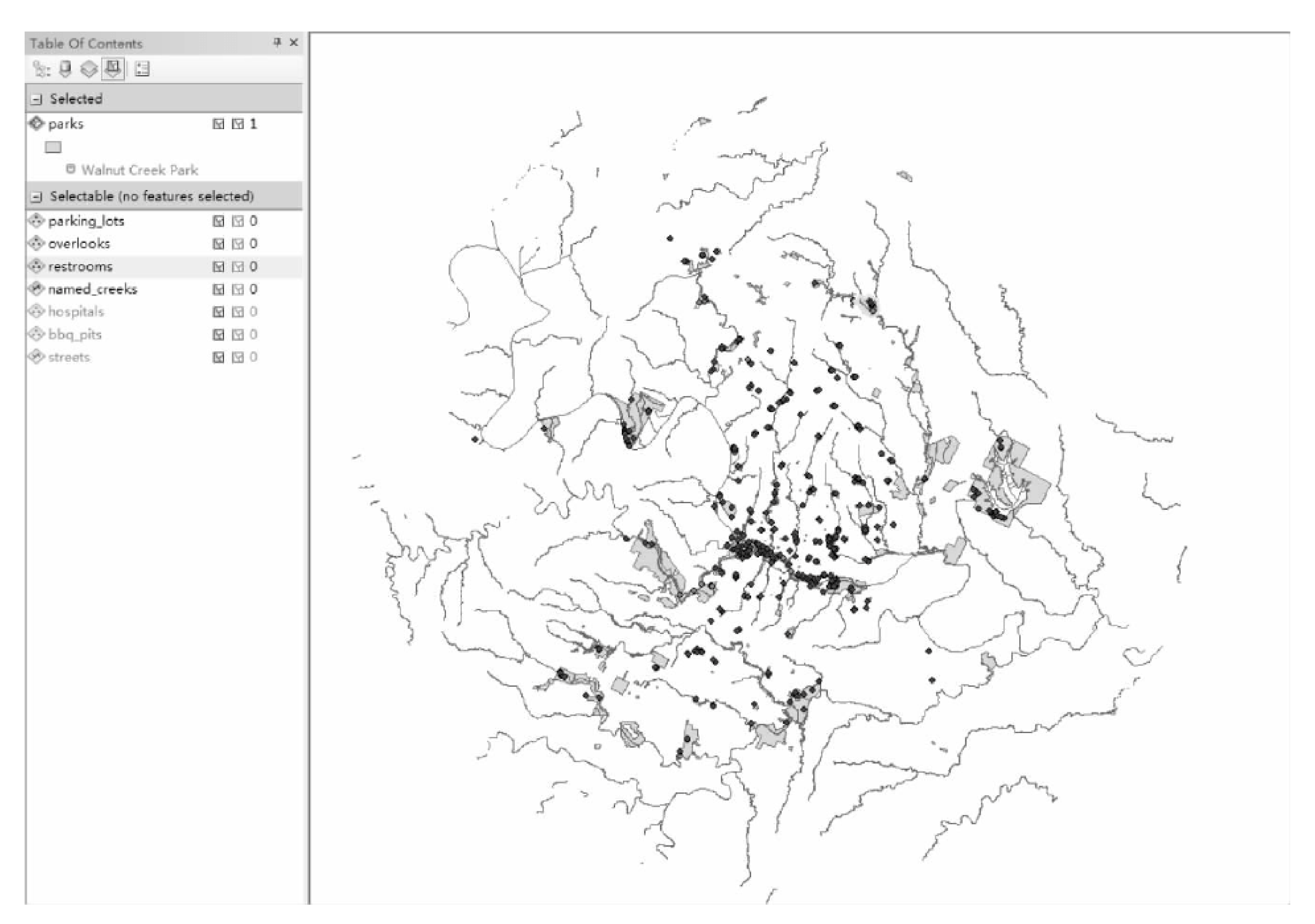


图 3-31　满足题意四个条件的公园

features)”，该选项旁边会提示此时休息室图层有 76 个要素被选择。将空间关系改为“包含源图层要素(contain the source layer feature)”，单击“应用(Apply)”，观察内容列表，只有 1 个公园 Walnut Creek Park 被选中。右键单击内容列表的 restrooms 图层，选择“清

除所选要素(Clear Selected Features)”,地图上将仅剩的公园 Walnut Creek Park 被选中,并高亮显示,该公园满足上述四个条件(见图 3-31)。

4. 基于属性特征的查询

阅读预备知识,了解各种查询运算符。使用 parks 图层数据,清除选择,恢复全局视图,将内容列表改为按选择列出。

假设你想寻找这样的一个公园,满足:

(1) 查找类型为 Metro 且面积大于 50 英亩的公园;

(2) 公园由多个部分组成;

(3) 公园名称中含有“Lady”关键字。

上述三个条件只涉及公园的非空间属性,可以使用“按属性选择”工具完成查询操作。单击菜单“选择(Select)|按属性选择(Select by Attributes)”,打开按属性选择对话框,如图 3-32 所示。在该对话框中,用户可以设置选择方法、目标图层,以及构建查询表达式。

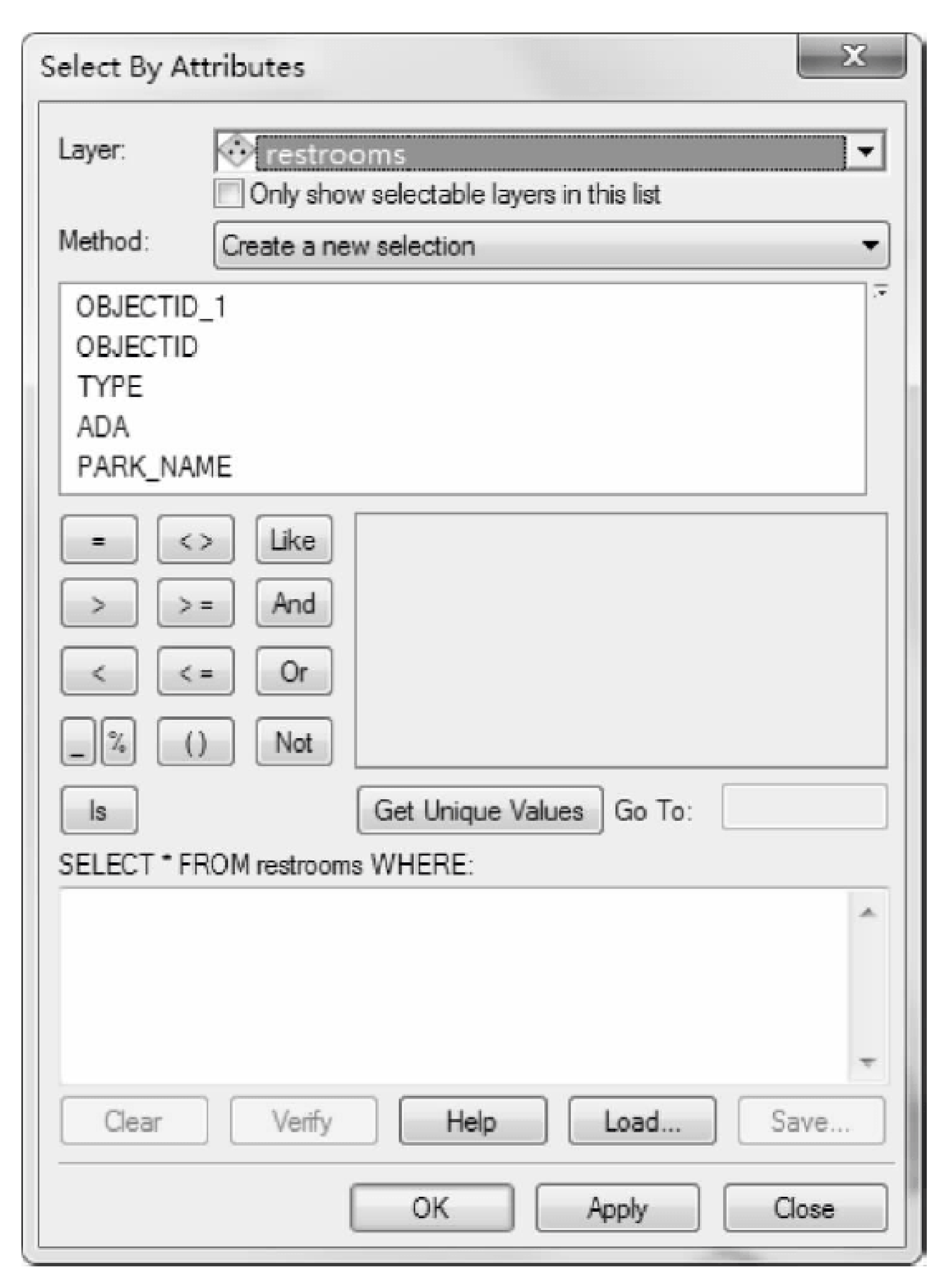


图 3-32　按属性选择对话框

打开 parks 图层属性表,了解该图层属性字段的含义,根据题意,可以构建查询表达式为 PARK_TYPE = ‘Metro’ AND ACRES > 50 AND PARK_PARTS > 1 AND PARK_NAME LIKE ‘%Lady%’。

按属性查询工具提供了非常便捷的方式来构建查询表达式,其中列出了目标图层的所有属性字段,直接双击,该字段名就会出现在下方的表达式,单击“获取唯一值(Get Unique Values)”可查看所选字段的所有属性值。

选择目标图层为“公园(parks)”,构建上述表达式后,单击“应用(Apply)”,将有 2 个公园被选择(见图 3-33)。

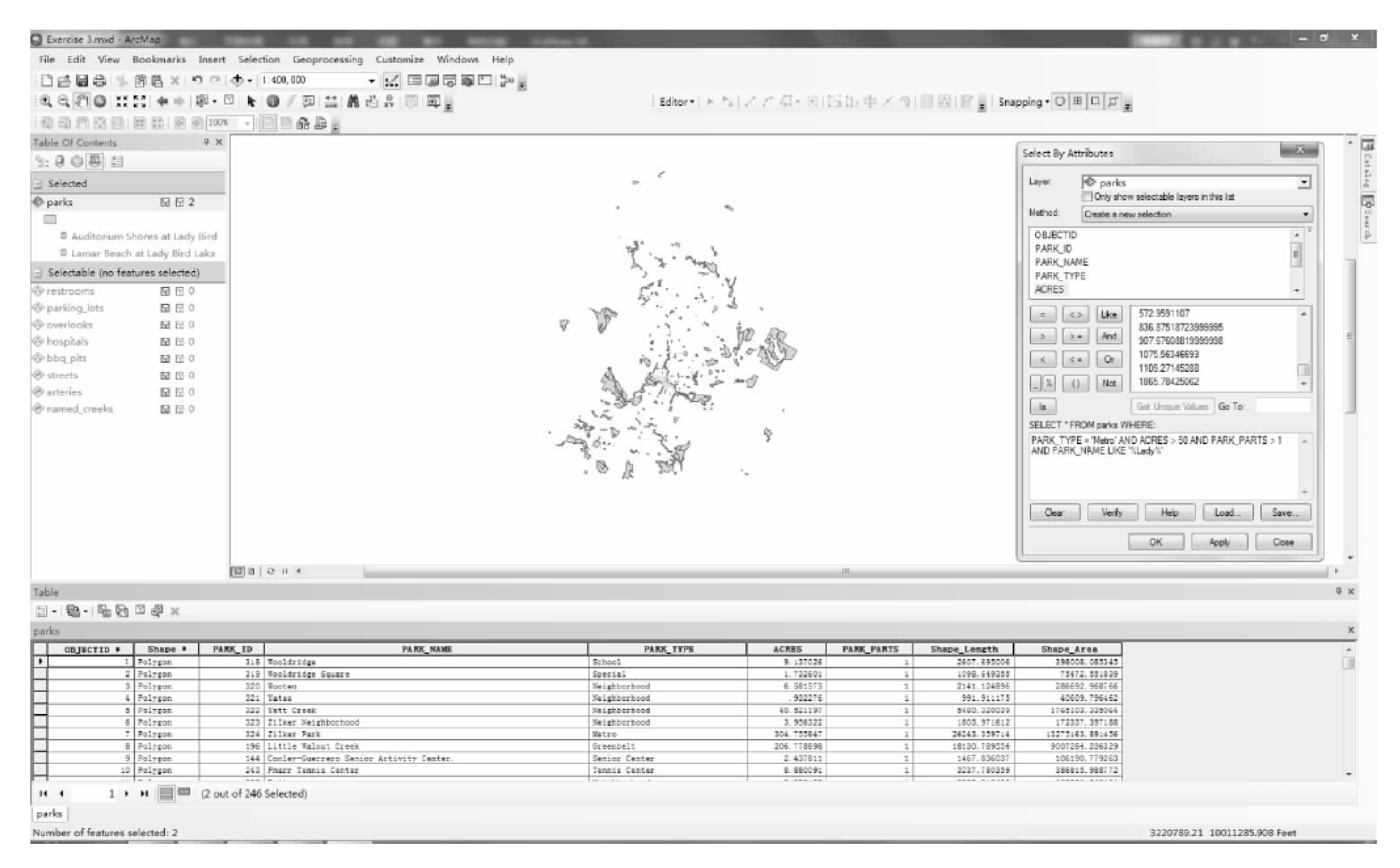


图 3-33　按属性选择符合条件的公园

5. 混合查询

自行设定目标和查询条件,将上述空间查询和属性查询方法结合起来,完成一组查询操作。要求:

(1) 利用 Austin. gdb 内的数据;

(2) 查询结果不能超过 5 个要素;

(3) 将查询结果另存为独立的图层或表格。

6. 地理编码

使用 streets 图层,清除选择,恢复全局视图。

(1) 将 Austin. gdb 中的 Restaurants 表格加载到地图工程文件中,打开其属性表,可以看到该表格记录了各个 Restaurant 的地址属性,包括门牌号、街道、城市、州、邮编等地址元素。

(2) 将表中的各个餐厅加载到地图上,转化为点要素类,理解地理编码在应急管理中的应用。

右键单击内容列表中的 Restaurants 表格,选择“对地址进行地理编码(Geocode Addresses)”,在弹出的对话框中选择 Austin. gdb 自带的地址定位器“streets_CreateAddressLocator”,之后弹出对地址进行地理编码对话框,如图 3-34 所示。

在地址输入字段(Address Input Fields)中设置好地址元素与 Restaurants 表格中属性字段的对应关系,同时设置好输出参数,单击“确定(OK)”,将打开地理编码地址进度对话框,并显示匹配的状态和进度(见图 3-35)。

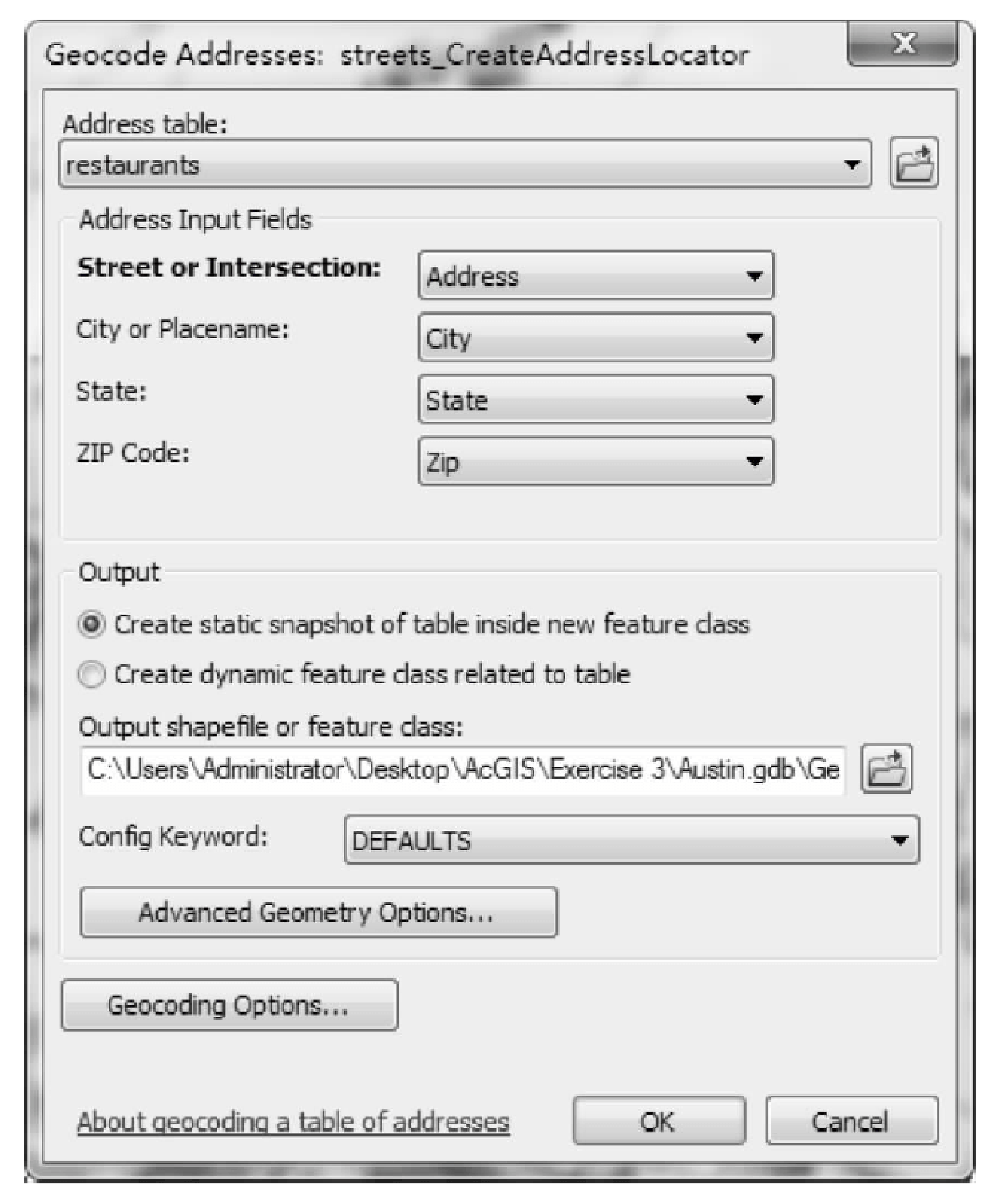


图 3-34　地理编码对话框

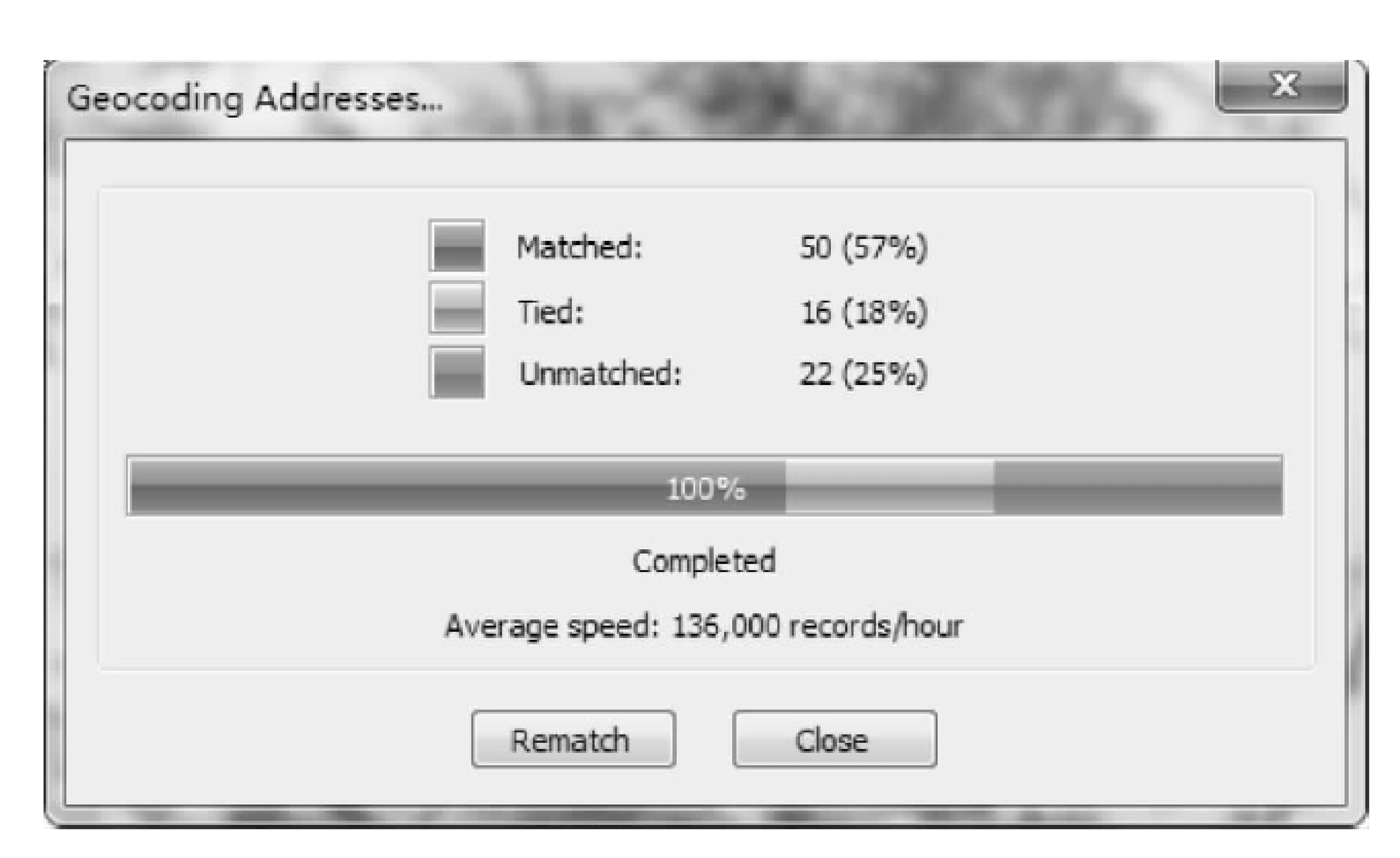


图 3-35　地址匹配状态和进度

可以看到仅 50 个(57%)Restaurants 成功匹配,有 16 个 Restaurants 有匹配候选项,但是匹配得分小于 100 分,有 22 个 Restaurants 匹配失败。出现这种情况的主要原因是地理编码过程中使用的地址定位器“streets_CreateAddressLocator”仅以 streets 要素类为主参考数据,该要素类并不能完整包含 Austin 的道路要素类。

单击重新匹配(Rematch),打开交互重新匹配对话框,如图 3-36 所示,该对话框提供了丰富的匹配信息。

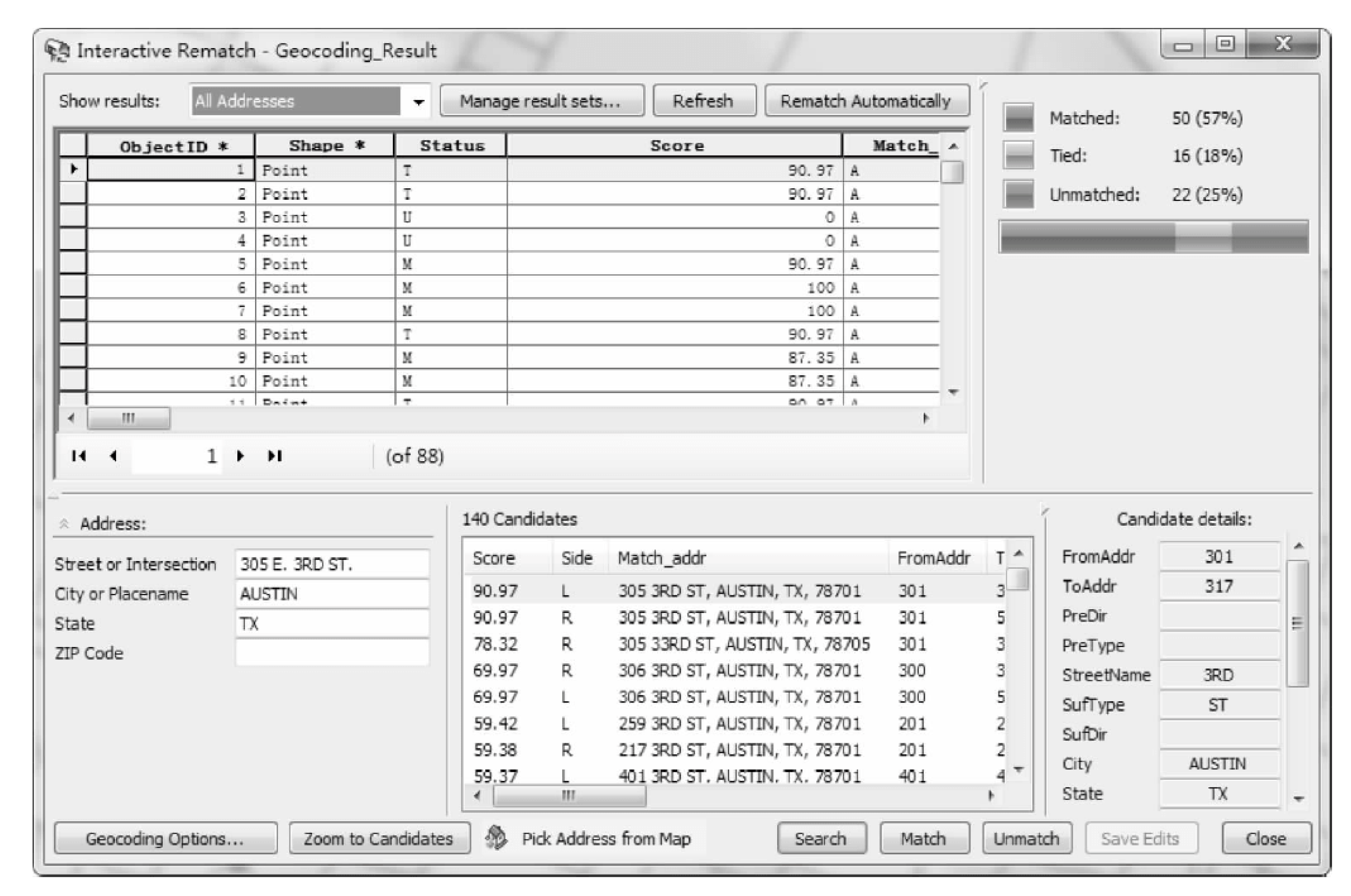


图 3-36　重新匹配对话框

在“显示结果(Show results)”中选择“匹配的候选地址(Matches Addresses with Candidates Tied)”,将列出 16 条记录,其状态(States)均为“T”(表示 Tied—提名)。选中其中一条记录,比如 ObjectID 为 26 的记录,在对话框左下方“Address”栏列出了该记录的地址“106 EAST 6TH ST, Austin, TX, 78701”,下方中间“Candidates”栏列出了地理编码过程中找到的该地址的候选匹配项,按匹配得分排序,单击“缩放至候选项(Zoom to Candidates)”,可看到所有候选项为蓝色高亮显示,而选中的候选项将以黄色高亮显示。此时需要用户判断哪个候选项是目标位置。可以借助查找工具,利用 ArcGIS Online 提供的全球地理编码服务(World Geocode Service),输入地址,查找得分最高的匹配项,从而确定候选项中第二项为正确的目标位置,该 Restaurant 在 106 6TH ST 的左边。选择第二候选项,单击对话框下方的“匹配(Match)”,该记录的状态从“T”变为“M”(表示 Matched—匹配)。同理为所有提名项和不匹配项寻找正确的匹配位置,单击对话框上方的“更新(Refresh)”,可以看到对话框右上方统计数据的变化。匹配了所有记录后,关闭交互匹配对话框。在 Austin.gdb 中将新生成点要素类 Geocoding_Result,并在内容列表与地图上自动加载该图层,地图上该点要素类中的每个点要素均代表了 Reataurants 表格中对应记录的空间位置(见图 3-37)。

本实验提示 2:ArcGIS Online 的世界地理编码服务允许在世界范围内查找地址或位置、对地址表进行地理编码或对位置进行反向地理编码。在交互查找地址和地点时,该服务作为默认定位器添加在地图中,并在地理编码工具条或查找工具对话框中提供,可免费使用。而在对地址表进行地理编码、重新匹配地理编码要素类和反向地理编码时,该服务要求用户订阅 ArcGIS Online for Organizations,或者购买、请求 30 天免费试用版。

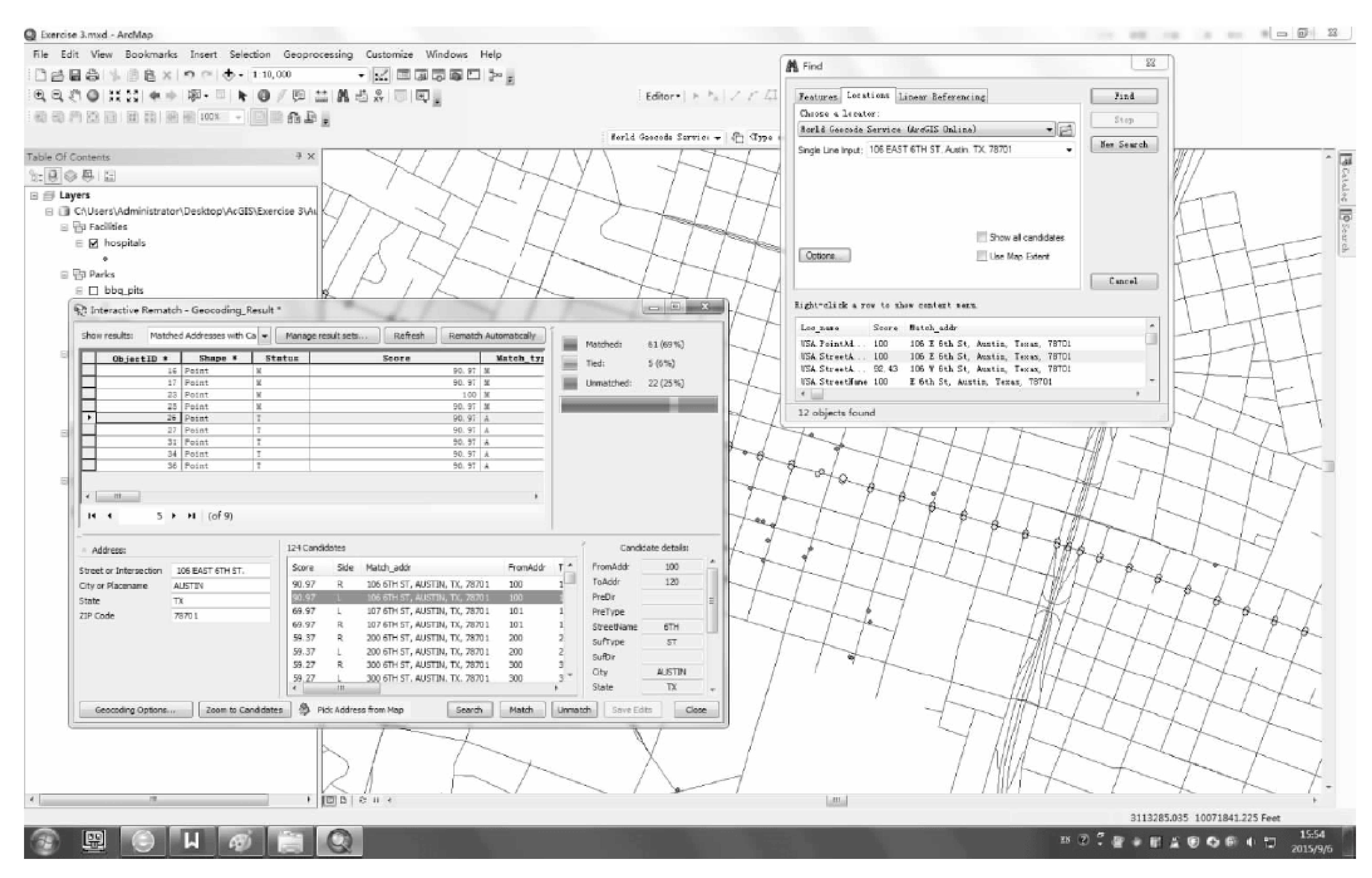


图 3-37　地址重新匹配

本实验提示 3：用户可以利用 Austin.gdb 中 Transportation 数据集中的所有要素类，构建复合地址定位器，完整包含 Austin 的所有地址信息，从而有效减少地理编码过程中不匹配的比例。

六、拓展练习

基于实验练习 2 创建的地理数据库与地图工程文件，执行下列操作。

1. 利用交互查询工具，查找距离某个重点防护目标出入口最近（直线距离）的消火栓。

2. 设定一个危险源，利用“按位置选择”工具，假设危险源均应有 100 米的缓冲区，检查在危险源缓冲区内是否存在重点防护目标。

3. 利用“按属性选择”工具，查找可容纳人数大于 100 人且类型为“草坪”的避护场所。

4. 自设定某种应急管理目标，利用混合查询完成一组查询操作。

实验四　空间网络分析技术

一、实验目的

1. 了解在 GIS 中利用网络分析模块能够解决哪些应急管理的问题。
2. 理解网络数据集、网络元素、网络分析对象、连通性、网络属性等基本概念。
3. 了解各种网络分析类输入输出字段的含义，以及其所代表的现实约束条件。
4. 熟悉网络分析工作流，了解如何通过添加网络分析对象、设置网络分析图层属性等操作，表达并求解网络分析问题。

二、实验内容

1. 利用 Paris 数据，练习网络数据集构建和编辑操作，练习网络分析对象的创建、加载、编辑等基本操作。
2. 通过网络属性、网络分析图层的分析选项卡、网络分析类输入字段等多种途径设置网络分析参数。
3. 使用 ArcGIS 的网络分析功能解决最佳路径、最近设施点、最佳选址点、计算服务区、创建 OD 成本矩阵等一系列问题。
4. 将网络分析操作应用在深圳大学城清华园区地图上，为应急管理中与网络分析相关的问题寻找最佳方案。

三、输入输出

1. 输入数据

(1) 文件地理数据库 Paris. gdb；

(2) 实验练习 2 拓展练习中输出的地理数据库和地图工程文件。

2. 拓展练习输出数据

(1) 地理数据库，包含实验内容要求的地理信息，命名为练习 4_制图者姓名；

(2) 为每种网络分析问题输出一个地图工程文件，包含实验内容要求的地理信息，命名为练习 4_某网络分析问题_制图者姓名；

(3) 实验报告，命名为练习 4_制图者姓名。

四、预备知识

1. 空间数据的网络分析

网络是一种由互联元素组成的系统，在我们的生活中，各种地理网络和城市基础设施网络就像社会的血管一样，承载了人员、物质、信息、能量的流动，比如交通网络承载了人

员与物资的流动，电力网络承载了能量的流动，光纤网络承载了信息的流动，等等。我国的南水北调、西电东送等工程，就是通过构建网络实现物质能量跨区域调动的典型例子。对地理网络和城市基础设施网络进行模型化和分析，是 GIS 网络分析功能的主要目的。

网络分析是运筹学模型中的一个基本模型，它的根本目的是研究、筹划一项网络工程如何安排，并使其运行效果最好，如有限资源的最佳分配，从一地到另一地的运输费用最低等，其本质还是优化决策问题——“寻找在一定的约束条件下，达到给定目标的最佳方案”的一个子类型，只是在这里研究的对象是空间位置相关的网络模型[14]。

网络中的基本组成部分和属性如下：

(1) 边(Link)，网络中资源流动的路线，也叫网络中的链，是现实世界中各种线路的抽象，如街道，河流、水管等，其状态属性包括阻力(比如车辆行驶的速度、时间等)和需求(比如车流量)。

(2) 位置(Location)，网络位置是网络中边的节点，包括：障碍、拐角点、中心、站点、事件、原点、目的等。

障碍(Barrier)，禁止网络中边上资源流动的点。

拐角点(Turn)，出现在网络边中所有的分割节点上，状态属性有阻力，如拐弯的时间和限制(如不允许左拐)。

中心(Center)，是接受或分配资源的位置，如水库、商业中心、电站等，其状态属性包括资源容量(如总的资源量)，阻力限额(如中心与链之间的最大距离或时间限制)。

站点(Stop)，在路径选择中资源增减的节点，如库房、汽车站等，其状态属性有要被运输的资源需求(如产品数)。

在应急管理工作中，很多空间相关的分析都离不开网络分析，比如在应急救援服务点(消防队、医疗卫生单位、避护场所等)的选址问题上，要确定其最优位置，以保证服务范围内的任一突发事件都能得到及时的救援服务，就需要考虑其服务范围内，最远的服务对象与该服务点之间的距离，该距离称为最大服务距离。服务点和服务对象组成了网络的节点，而多种交通路线(道路、铁路、河流、航线)组成了网络的边，选址问题转换为在网络中寻找一个节点，使得最大服务距离最小，要解决这个问题，就需要用到网络分析中的可达性分析和位置分配分析。

图论是网络分析的理论基础。图论中的“图”不同于地图、几何图或者工程设计图，而是以一种抽象的方式来表达特定对象之间联系的数学系统。我们可以用由点集合 V 和点与点之间的连线的集合 E 所组成的集合对 $G(V,E)$ 来表示图，显然一个图可以代表一个网络，点集包含了网络的节点，而边集包含了网络中的所有边。点集 V 与边集 E 均为有限的图称为有限图；若图中的边均有方向，则称为有向图，否则称为无向图，如图 4-1 所示。在无向图中，首尾相接的一串边的集合称为路，比如图 4-1 左侧的$\{e_1,e_7,e_5\}$，在有向图中，顺向首尾相接的一串有向边的集合称为有向路，比如图 4-1 右侧的$\{e_1,e_4,e_3\}$，如果某条路起始节点和终止节点重合，则称为回路，比如图 4-1 左侧的$\{e_1,e_3,e_5,e_7\}$。如果图中任意两个节点之间均存在一条连接它们的路(有向图考虑边的方向)，则该图是连通的。图中的边不需要按比例绘制，不代表真实的长度，图中任一边均可赋予多个权数，这些权

数代表了边的耗费,或者称为成本,可以用于表示边的实际长度、不同情况下穿越边所需的时间、穿越边所需费用等等。

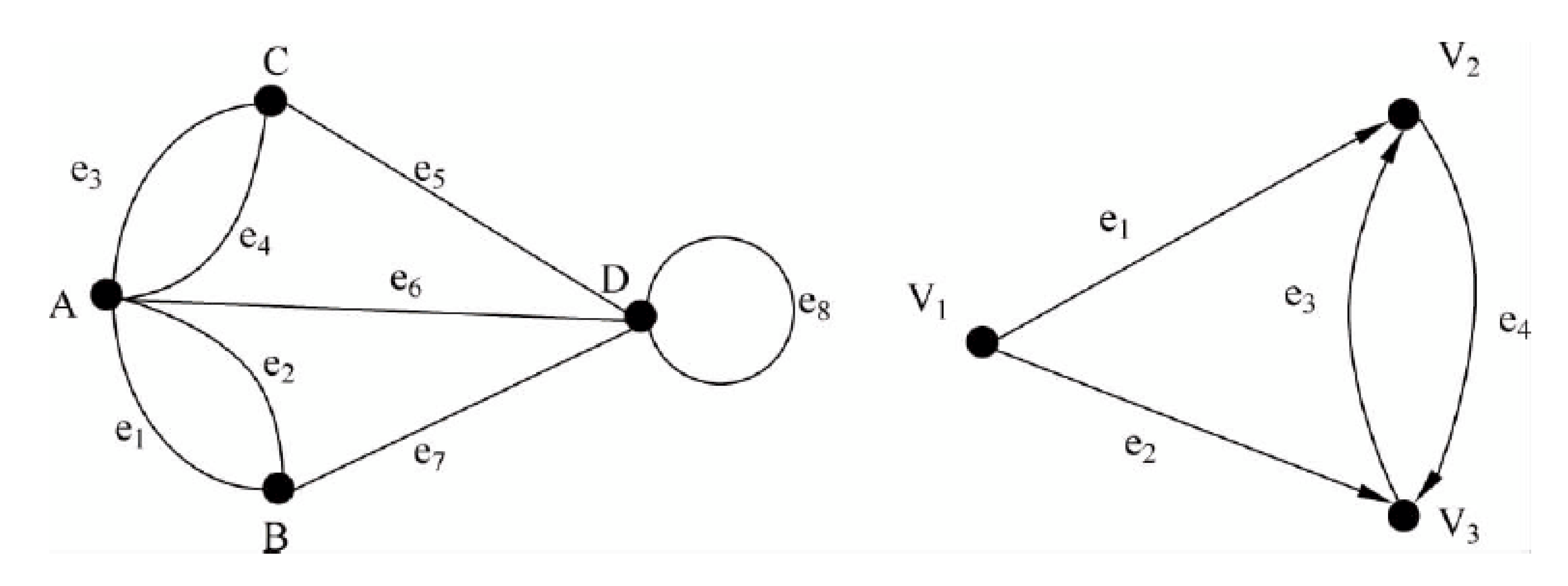


图 4-1　无向图与有向图

网络分析可以解决最优路径分析、选址、资源分配、定位导航、可达性评价等多种问题,它们对城市规划、生产管理、应急管理等都有重要的指导意义。其中最优路径分析是解决各种网络分析问题的基础,网络分析的许多问题都可转换为最优路径问题或者将最优路径求解作为其求解的主要子过程[14],人们日常生活中出行所用的导航工具,就是最优路径分析的典型应用。最优路径是在最短路径的基础上发展而来的,狭义的理解可以认为最短路径是指距离最短的路径,但是当把距离替代为时间、费用等其他成本时,同样的算法算出来的便是耗时最少的路径或花费最少的路径,因此最优路径问题可以转化为最短路径问题,根据实际需求的不同,最短路径分析又可以分为单对节点间最短路径分析、多对节点间最短路径分析、指定节点顺序最短路径分析、指定必经边的最短路径分析等。

到目前为止,Dijkstra 算法仍然是应用最广的非负权值网络最短路径问题算法,可以解决单对节点间的最短路径分析,其基本思想是按相邻节点不断迭代,寻找"当前"最短路径,该算法不仅能够算出起始节点到终止节点的最短路径,而且能同时得到起始节点到网络中其他所有节点的最短路径,也就是说其计算结果是一棵以起始节点为根的最短路径树。关于 Dijkstra 算法的步骤以及多种优化 Dijkstra 算法的进展,本教材不详述,有兴趣的读者可以查阅其他相关资料。

2. ArcGIS 中的网络分析模块

在实验练习 1 的预备知识中介绍过,计算机通过矢量和栅格两种基本的数据模型来描述地理实体,因此关于最短路径分析也有基于矢量模型的分析和基于栅格模型的分析两种,ArcGIS 的网络分析模块只能针对基于矢量模型的最短路径分析,而其空间分析模块则可以解决针对基于栅格模型的最短路径分析。

ArcGIS 的网络分析模块可以执行路径分析、服务区分析、最近设施点分析、OD 成本矩阵分析、车辆配送分析、位置分配分析等六种网络分析,另外,如果分析对象具有精确的 Z 坐标值,ArcGIS 也支持三维网络分析[15]。

(1) 路径分析

路径分析(见图 4-2)可以找出网络中从一个节点到达另一个或多个节点的最优路线,路径的成本可以是距离、时间、费用等,用户可以通过在地图中直接单击、输入地址,或者使用现有要素来指定节点位置,如果要访问的节点超过 2 个,用户还可以指定访问顺序,也可以使用网络分析模块提供的最佳顺序。除了提供最优路径之外,ArcGIS 的网络分析

模块还会提供详细的导航信息，这些信息可以打印输出。



图 4-2　ArcGIS 路径分析

（2）服务区分析

服务区分析可以找出网络中任一位置周围，在指定成本内可以到达的街道范围，属于一种可达性分析（见图 4-3）。可达性是指到达某个地点的难易程度，比如评估从某个消防局出发，10 分钟可以到达的所有街道。服务区分析可以设置阶梯成本，比如 5 分钟可达、10 分钟可达、15 分钟可达，从而获得多个同心服务区，在一些选址、资源分配等问题的评估上，能帮助用户做出更合理的决策。



图 4-3　ArcGIS 服务区分析

（3）最近设施点分析

最近设施点分析可以度量事件点与设施点之间的路径成本，找出距离事件点行驶成本最小的设施点，并确定最优路径，返回导航信息（见图 4-4）。利用该分析可以找出距离

事故地点最近的医院、距离报警点最近的警车等,在应急处置、应急救援过程中应用广泛。

在查找最近设施点时,可以设定成本限制,比如搜索距离事故地点 15 分钟车程内的医院,则返回结果中将不会包含任何行驶时间超过 15 分钟的医院;同时可以设置查找数量和行驶方向(驶向或者驶离设施点)。

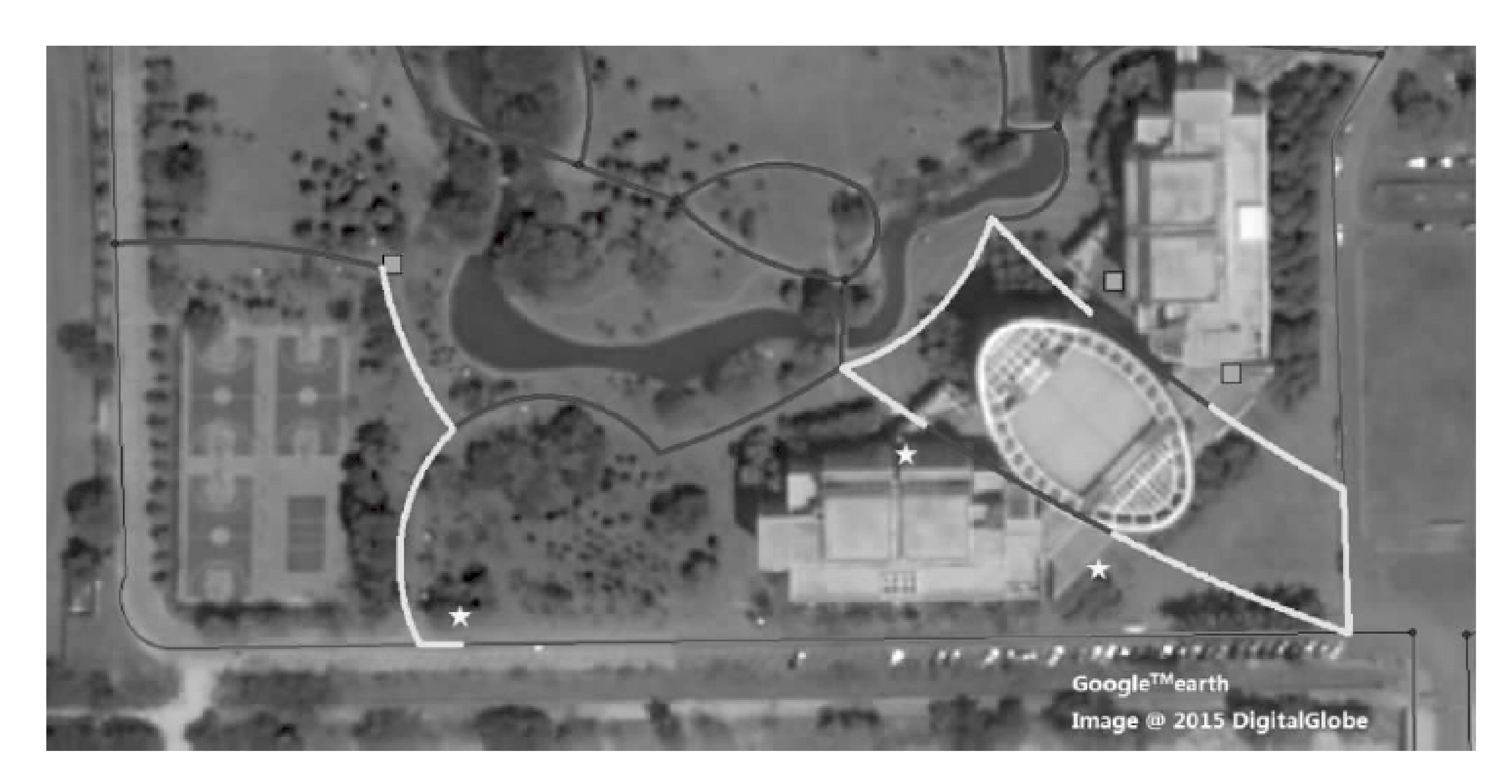
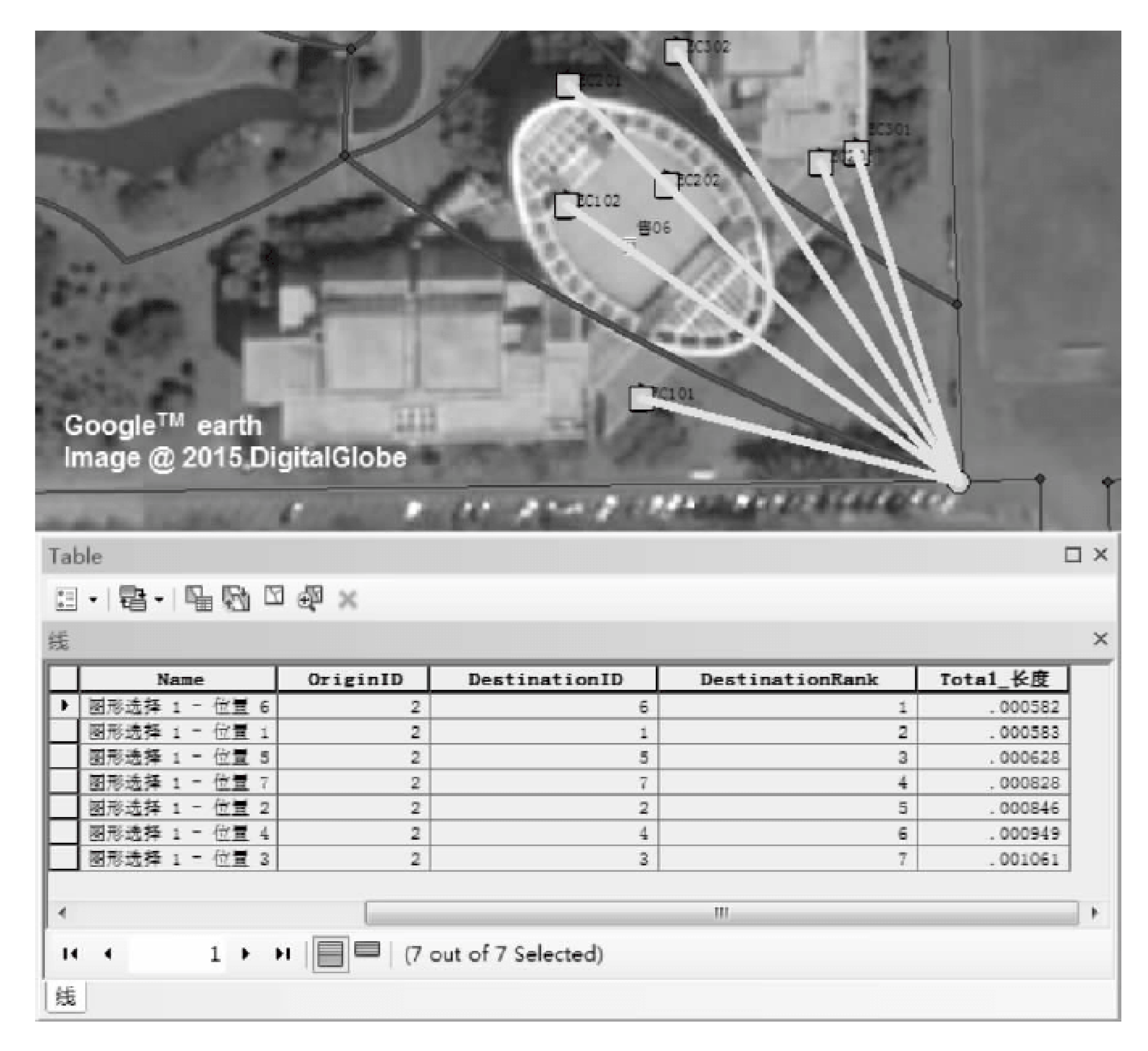


图 4-4　ArcGIS 最近设施点分析

(4) OD 成本矩阵分析

OD 成本矩阵分析用于计算网络中从多个起始点到多个目的地的最优路径的成本,与最近设施点的主要区别在于 OD 成本矩阵无须返回最优路径的实际形状和导航信息,因此其输出的不是沿网络的线,而是直接连接起始点和目的地的直线,但是存储在线的属性表中的是两点之间的网络成本,而不是直线距离(见图 4-5)。显然 OD 成本矩阵分析比最近设施点分析计算速度更快,计算时间更少。类似地,OD 成本矩阵分析也可以设置成本限制和目的地数量限制。



Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total_长度
图形选择 1 - 位置 6	2	6	1	.000582
图形选择 1 - 位置 1	2	1	2	.000583
图形选择 1 - 位置 5	2	5	3	.000628
图形选择 1 - 位置 7	2	7	4	.000828
图形选择 1 - 位置 2	2	2	5	.000846
图形选择 1 - 位置 4	2	4	6	.000949
图形选择 1 - 位置 3	2	3	7	.001061

图 4-5　ArcGIS OD 成本矩阵分析

（5）车辆配送分析

车辆配送分析能够在一定的限制条件下（比如总体运营时间、司机排班顺序、客户承诺时间限制、特殊运送需求、车载容量等），优化一个车队的任务分配和行驶路线，使得整体运营成本达到最优（见图 4-6）。事实上，“车辆配送”只是一个代名词，只要分析中涉及多个停靠点和两条以上路径，需要确定各条路径所应服务的停靠点以及访问顺序，就可以使用车辆配送分析。比如在辖区治安维护工作中，要确定治安人员的日常巡检路线等。

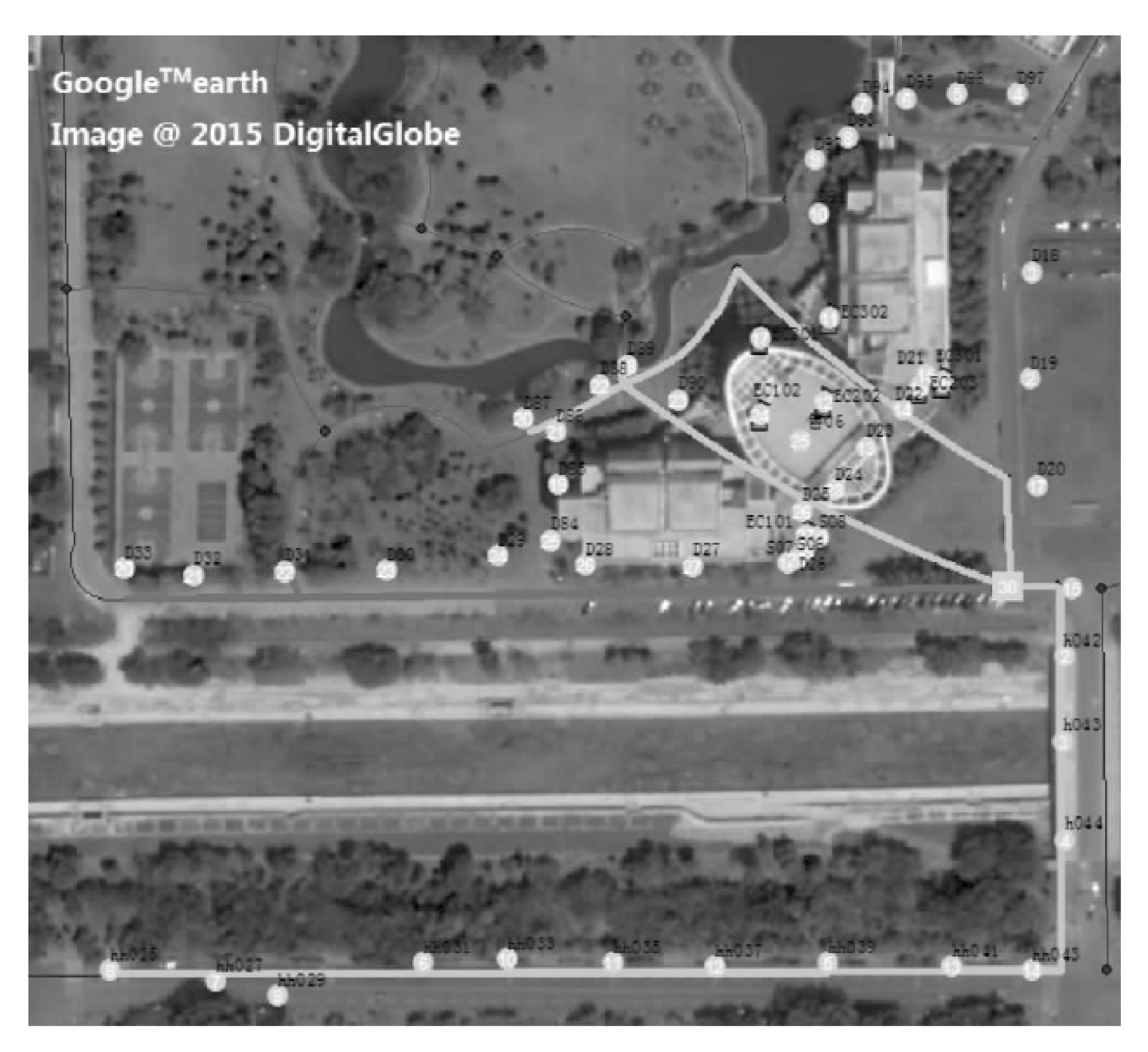


图 4-6　ArcGIS 车辆配送分析

（6）位置分配分析

位置分配分析是在可提供服务的设施点和消费服务的请求点位置均已知的情况下，选择确定最合适的设施点位置和数量，从而保证最高效地满足请求点的需求（见图 4-7）。



图 4-7　ArcGIS 位置分配分析

位置分配分析可以对七种不同类型的问题予以解答，分别是：

最小化阻抗，比如如何确定急救中心的位置，使得急救中心到所有请求点的总成本最小。

最大化覆盖范围，比如如何确定急救中心位置，使得在五分钟内救护车（从急救中心出发）能够覆盖的请求点数量最多。

最大化有容量限制的覆盖范围，如上述类似，只是设施点增加了容量限制，比如急救中心病床位有限，能够接纳的患者数量有限等。

最小化设施点，比如最少需要分别在什么地方设置多少个急救中心，才能满足整个辖区内救护车（从急救中心出发）均能五分钟内到达任一请求点。

最大化人流量，此处以及下面的最大化市场份额和目标市场份额问题均涉及一个重要的概念——“权重”，设施点和请求点均有权重，权重表明了该点的重要性，比如在其他条件相同的情况下，某个请求点包含100个人，另一个请求点包含50个人，那么对商店来说，前一个请求点的权重将大于后一个请求点，因为显然前一个请求点可能带来更多的消费量。最大化人流量问题假设对于某设施点来说，请求点的权重会随着距离的增加而减少，该衰减函数可以由用户指定，在这种前提下，将设施点定位在能够获得最多请求点权重的位置上。比如解决不考虑竞争对手的情况下，选择一间零售店的位置，使得可能的顾客最多等问题。

最大化市场份额，在充分了解竞争对手的信息的基础上，解决一定数量的设施点定位问题，使得设施点占有尽可能多的请求点权重。此时由于存在竞争对手，因此设施点也需要权重属性，以反映设施点与竞争对手相对吸引力的强弱关系。在商店选址问题上，最大化市场份额问题比最大化人流量问题更接近实际情况。

目标市场份额，在指定占有总市场份额（所有请求权重之和）百分比的限制条件下，确定所需的设施点最小数量和位置。比如想要了解在存在两个竞争对手的情况下，希望自身市场份额占30%以上时，需要进行多大程度的扩张这类问题就可以使用该方法来求解。

无论执行哪种类型的网络分析，其工作流程都是相似的，都可以分为以下几个步骤，如图4-8所示。

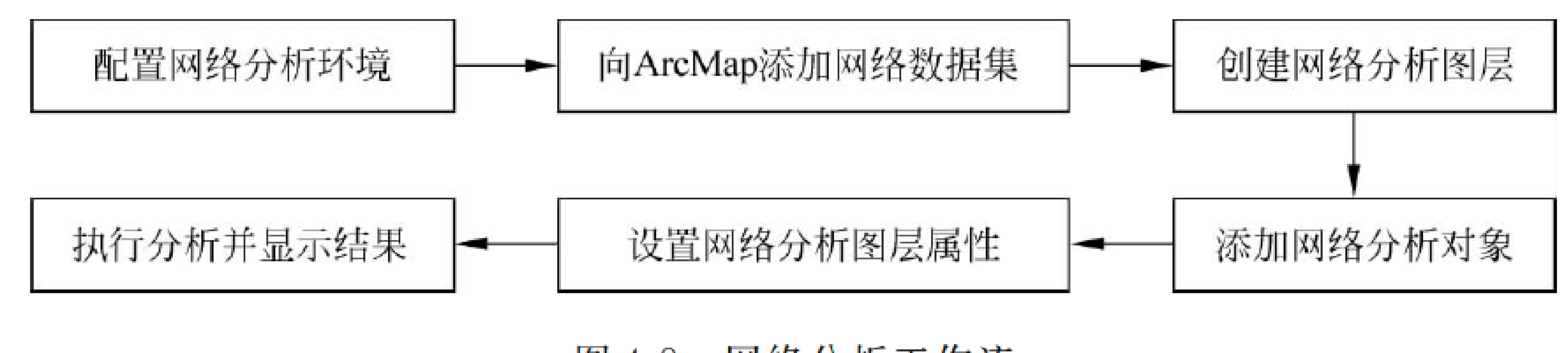


图4-8　网络分析工作流

这里面涉及了几个基本概念，介绍如下：

1. 网络数据集、网络元素、连通性、网络属性、网络图层

网络数据集是用于构建网络的互联网络元素的集合，这是一个逻辑网络。不同于貌似网络的线要素类，网络数据集存储了网络元素的连通性，只有在网络数据集中，ArcGIS才知道哪些边在哪些地方是连通的。

网络元素是由创建网络数据集时添加的源要素(线要素类和点要素类)生成的,包括边、交汇点和转弯,其中边和交汇点是必要元素,而转弯是一种可选元素,转弯可以用来存储与特定转弯移动方式有关的信息,比如限制只能左转。在网络数据集中,边的每个端点都必须存在交汇点,因此如果源要素中没有包含在边的端点处的点要素类,则 ArcGIS 在构建网络数据集时会自动创建系统交汇点。

通过设置连通性规则,网络数据集可以表示一个复杂的多模式的交通网络,比如图 4-9 显示的由公路和地铁两个子网络构成的城市交通网。建立连通性要从定义连通性组开始,每个连通性组代表一个子网络,每个边只能被分配到一个连通性组中,而每个交汇点可以被分配到一个或多个连通性组中,显然,同时位于多个连通性组的交汇点是子网络之间的转接点。在公路和地铁这个例子里,公路构成一个连通性组,地铁构成另一个连通性组,而地铁出入口则构成了公路和地铁之间的连接。

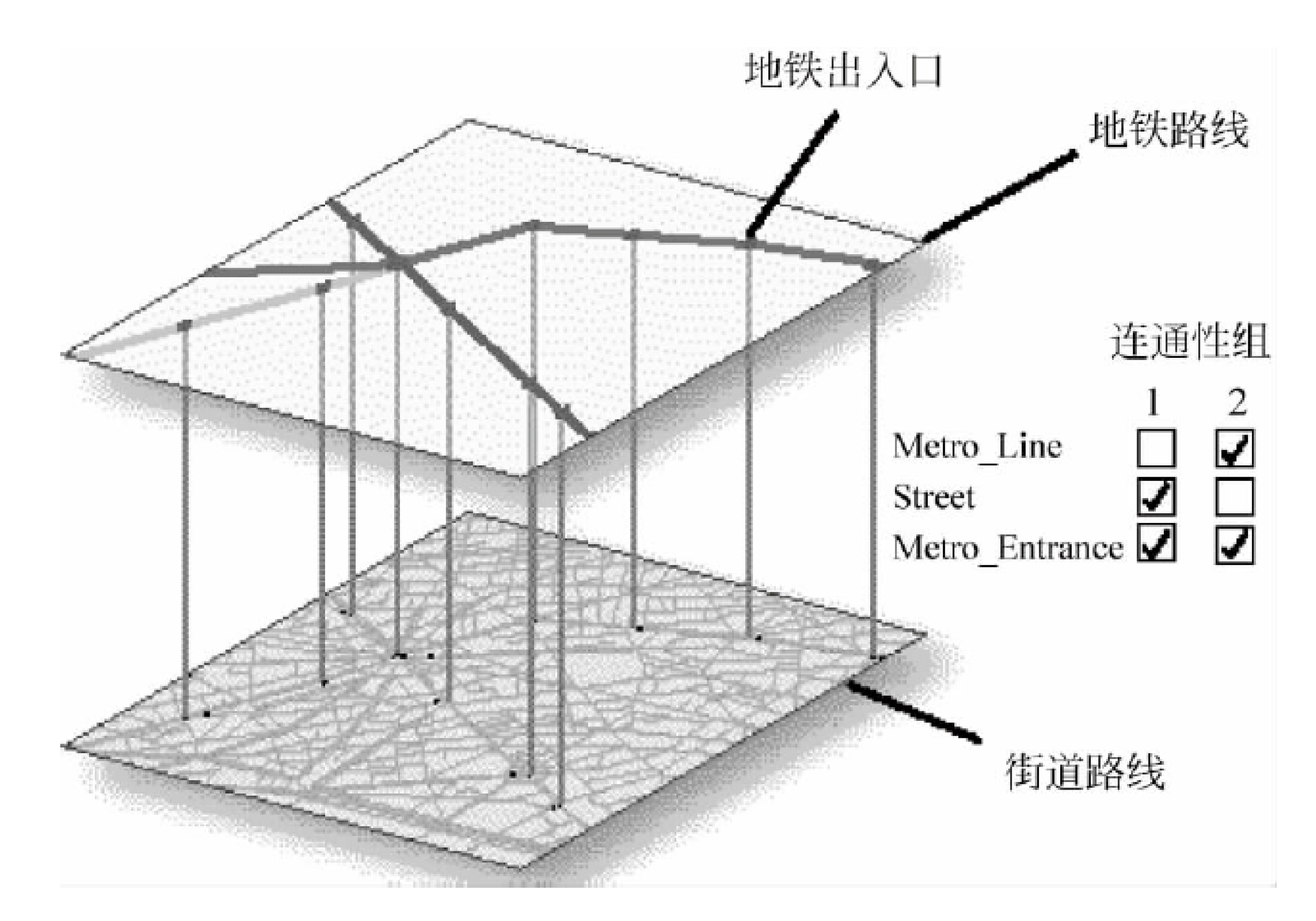


图 4-9　城市交通网与连通性组[15]

在同一个连通性组中,边可以以两种不同的方式连通,包括端点连通和折点连通,这叫做边的连通性策略,如图 4-10 所示。在端点连通策略中,边仅能在重合的端点处进行连接,这种连通策略可以构建桥梁与道路的连通性,显然即使在绘图时有折点重叠,从桥下穿过的道路与桥梁仍然是不连通,桥梁只在其端点处与其他道路相连。在折点连通策

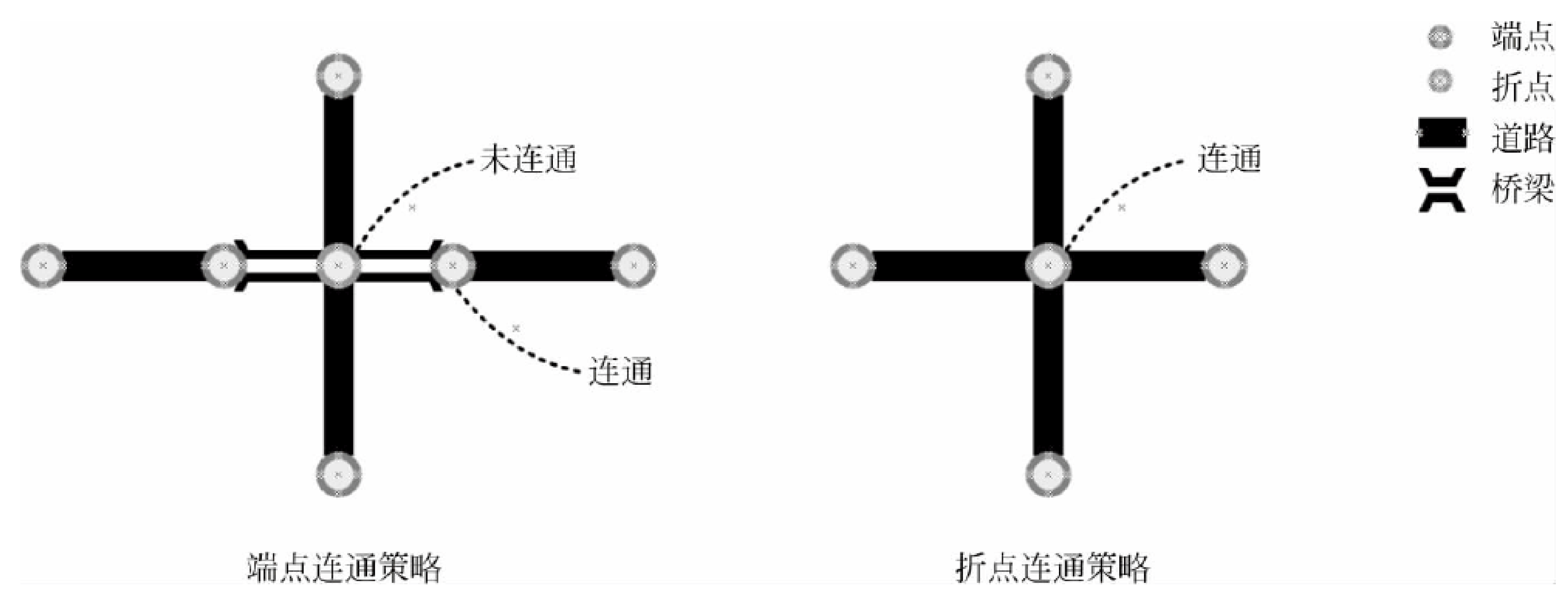


图 4-10　边的连通性策略

略中，边将在任意重合折点处被拆分为多条边，并在该折点处互联互通，这种连通性策略可以很方便地构建十字路口。需要注意的是，折点连通策略并不能将所有相交的边都连通在一起，如果这些边没有重叠的折点的话，那么任何连通性策略都无法让它们在交点处相连。所以构建网络数据集之前，应该对源线要素类进行检查，以保证所有需要连通的地方都放置了折点或端点。

还存在一种情况是指定的交汇点并不在边的端点，比如地铁出入口一般设置在道路的中间，如果道路采用了端点连通策略，则地铁出入口与道路无法连通，此时就需要设置交汇点的连通性策略。如图 4-11 所示，交汇点的连通性策略也分为两种，分别是遵从和覆盖。所谓遵从是指服从边的连通性策略，如果边是端点连通策略，则交汇点必须落在边的端点，否则该交汇点无意义，所谓覆盖是指忽略边的连通性策略，边在交汇点的位置连通。默认情况下会使用遵从连通性策略。注意，无论哪种情况，交汇点都必须至少与边的端点或者折点重叠，否则任何连通性策略都无法使得边在该交汇点处连通。

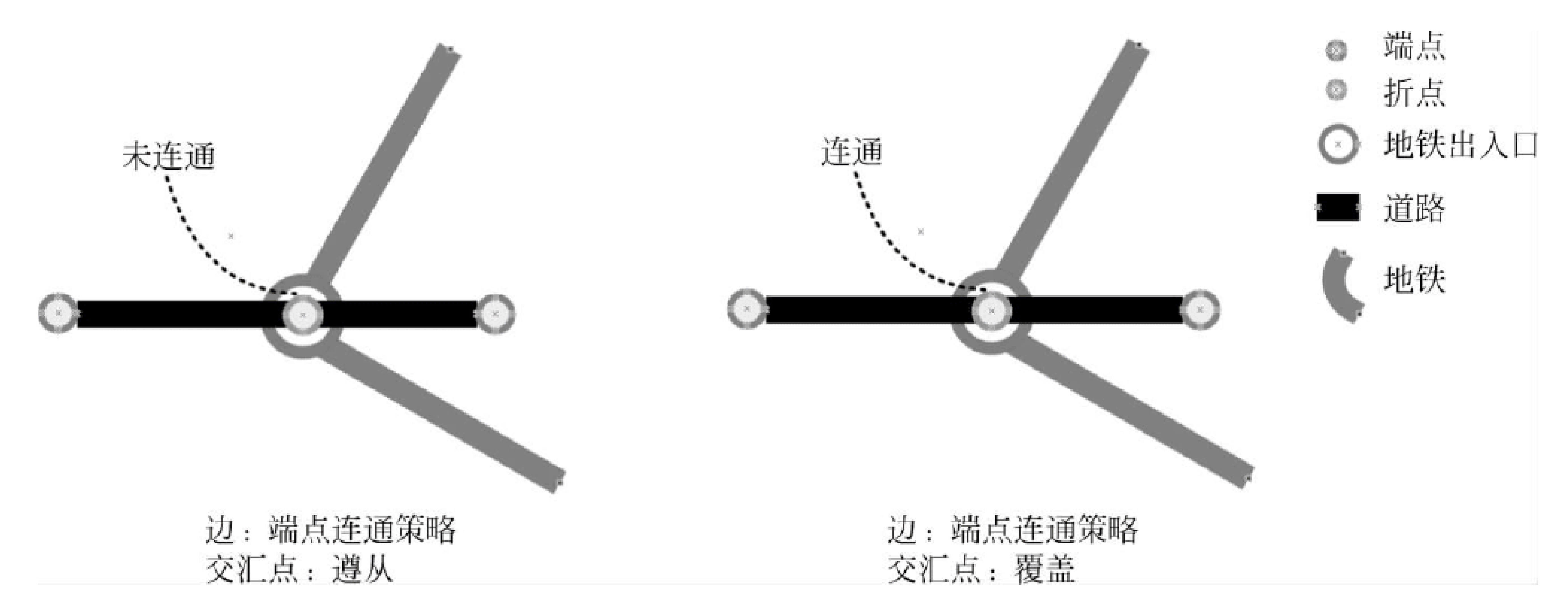


图 4-11　交汇点的连通性策略

网络数据集还有一个丰富的网络属性模型，用于构建网络的成本、约束、描述符和等级。成本属性用于描述穿越网络元素所需的时间或距离，查找最优路径的分析就是网络成本的最小化问题。在 ArcGIS 中不支持成本负值，带有负值成本的网络元素将被视为遭禁元素，比如带有负值成本的边将被视为不可通行的边。描述符用于描述网络元素的特征属性，比如道路限速、限重描述。约束属性可以在分析过程中完全禁止、避免或者首选使用受限制的网络元素，比如通过约束条件属性对人行道建模，设置为完全禁止，这样在执行网络分析时，标识为人行道的网络元素就会被完全排除在为机动车生成的路径之外。等级属性是指分配给网络元素的次序或级别，比如道路可以分为城市道路、高速路、省道、国道等，如果使用等级网络分析，在选择道路时会倾向于更高级别的等级，这在求解大型网络时通常耗时更少，而且在某些情况下可以更真实地模拟出驾驶员的驾驶习惯，比如长途旅行时驾驶员通常偏好包含高速路的路线。

将网络数据集加载至地图后，会在 ArcMap 中生成网络图层，网络图层中虽然存储了边、交汇点、转弯等多种网络元素的符号系统，但是在 ArcMap 的内容列表中只显示为一个图层，且该图层的所有元素被视为一个整体，无法进行交互式选择。

简单总结如表 4-1 所示。

表 4-1　网络分析基本概念总结表

概念	释　　义
网络数据集	网络数据集是用于构建网络的互联网络元素的集合
网络元素	网络元素是由创建网络数据集时添加的源要素(线要素类和点要素类)生成的,包括边、交汇点和转弯
连通性策略	连通性策略定义了网络元素的互联规则
网络属性	网络属性描述了网络的可穿越性,包括成本、约束、描述符和等级四种类型
网络图层	网络图层是网络数据集在 ArcMap 中的表现

2. 网络分析图层、网络分析类和网络分析对象

如前所述,ArcGIS 可以执行路径分析、服务区分析、最近设施点分析、OD 成本矩阵分析、车辆配送分析、位置分配分析等六种网络分析,对于每一个网络问题,ArcGIS 都会提供一个独立的网络分析图层,图层中包含了分析涉及的所有网络分析类和网络分析对象。以路径分析为例,路径分析是在已知停靠点和障碍点情况下,找出经过所有停靠点的最优路径,要执行路径分析,首先要创建路径网络分析图层,该网络分析图层包含了停靠点、障碍点、路径等网络分析类,而每一个网络分析类中又可包含一个或多个网络分析对象,比如停靠点网络分析类中可以包含多个停靠点。网络分析图层、网络分析类、网络分析对象的关系可以从图 4-12 中体现。网络分析图层可以看作是设置和求解网络问题的框架。网络分析类是这个框架的输入和输出,本质上还是要素类和表,比如在路径分析问题中,停靠点是输入类,路径是输出类。网络分析对象是网络分析类中的具体的要素和记录,比如图 4-12 中的停靠点 1、停靠点 2。

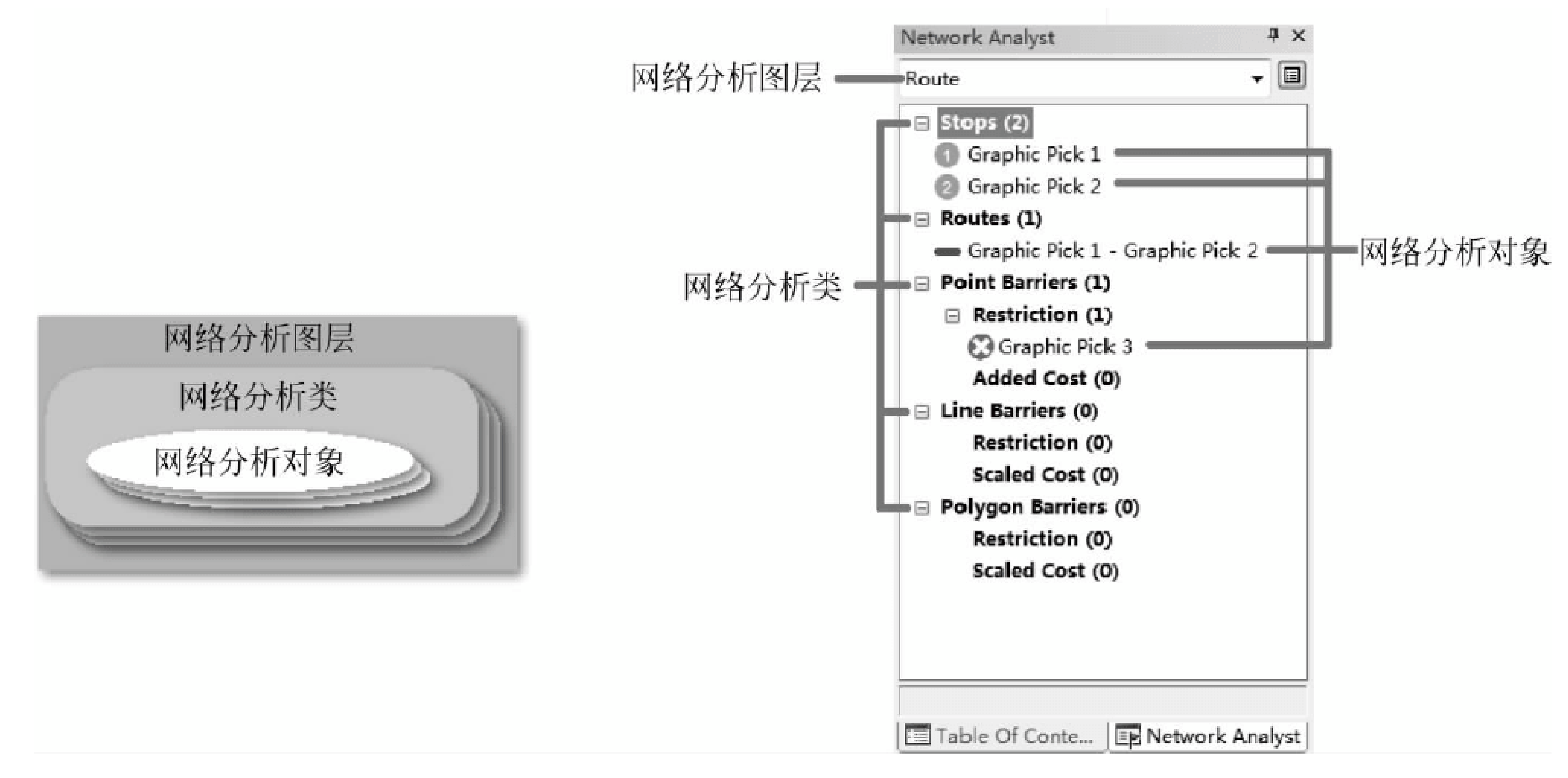


图 4-12　网络分析图层、网络分析类、网络分析对象之间的关系[5]

虽然一个网络分析图层包含了多个网络分析类,但是在 ArcMap 的内容列表中只表现为一个复合图层,网络分析类表现为其中的子图层,如图 4-13 所示。

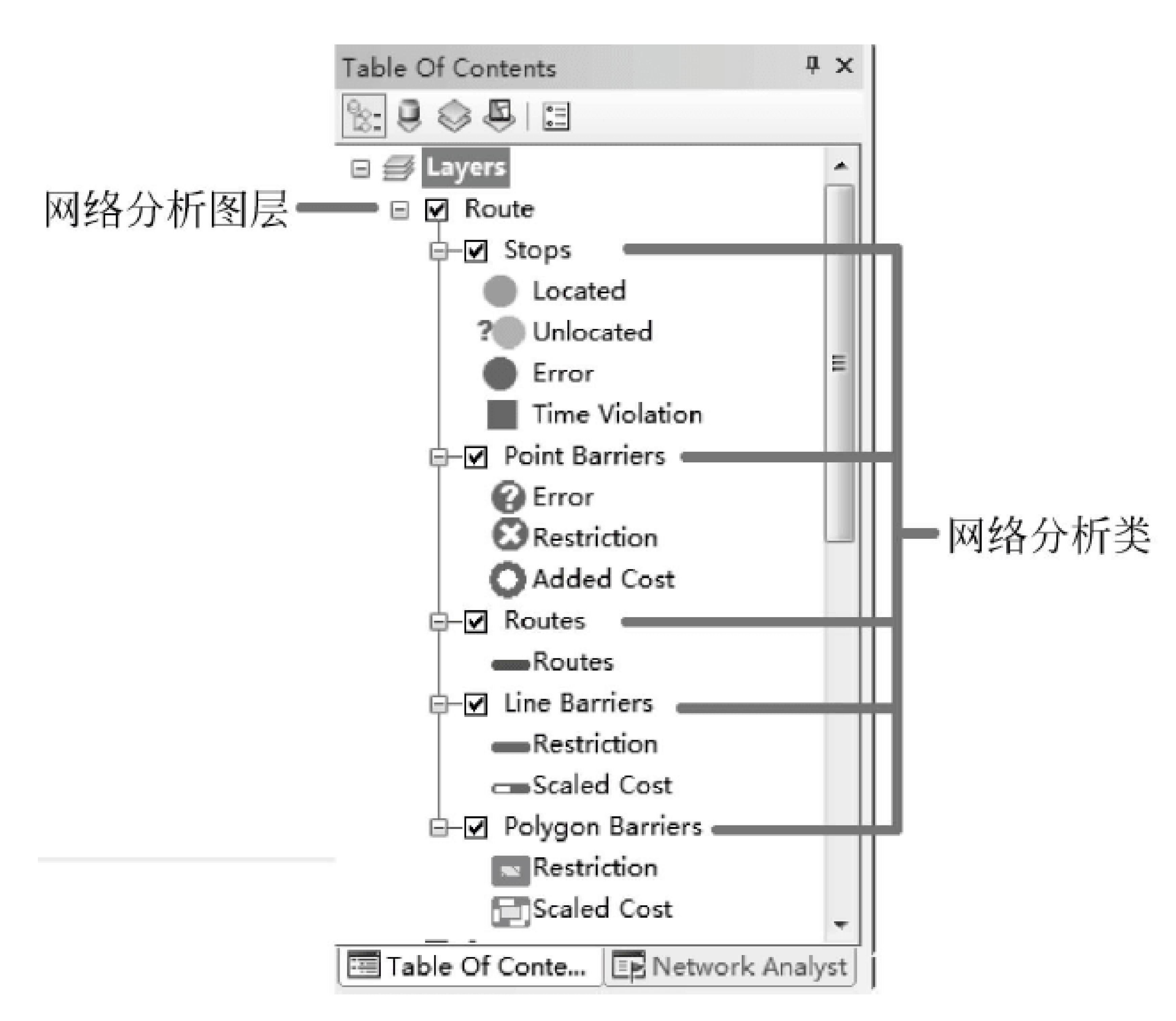


图 4-13　内容列表中的网络分析图层和网络分析类

五、实验步骤

利用课堂练习数据 paris. gdb，熟悉网络分析工作流。

1. 打开 ArcMap，新建地图工程文件，将 paris. gdb 设为地图文件默认地理数据库

2. 配置网络分析环境

启动网络分析模块，打开网络分析工具条，显示网络分析窗口。

网络分析模块是 ArcGIS 的扩展模块，要使用该模块的所有功能，必须安装并启用该模块。单击 ArcMap 菜单栏上的“自定义(Customize)|扩展(Extensions)”，在弹出的对话框中勾选“网络分析(Network Analyst)”，启动网络分析扩展模块，如图 4-14 所示。如果弹出的对话框中没有“网络分析(Network Analyst)”项，说明用户没有安装 ArcGIS 网络分析扩展模块的许可。

本实验提示 1：除了网络分析之外，ArcGIS 还提供了空间分析、追踪分析、地统计分析等多个扩展模块，详见“ArcGIS Help/扩展”，这些扩展模块的打开方法同上。

单击 ArcMap 菜单栏上的“自定义(Customize)|工具条(Toolbars)|网络分析(Network Analyst)”，打开网络分析工具条，如图 4-15 所示。单击网络分析工具条上的“显示网络分析窗口”，打开网络分析窗口，该窗口可以在 ArcMap 任意边停靠，也可以叠加停靠在其他窗口上方。通过网络分析窗口可以选择当前活动网络分析图层，设置网络分析选项，并获取当前活动网络分析图层的对象、类及属性。

3. 创建网络数据集，添加网络分析图层

(1) 打开 Paris. gdb 地理数据库，观察 Transportation 要素数据集包含的要素。可以看到该要素数据集包含了 Paris 的所有交通要素，其中线要素包括地铁(Metro_Lines)、街道(Streets)、地铁中转站(Transfer_Stations)以及地铁与街道的转换站(Transfer_Street_

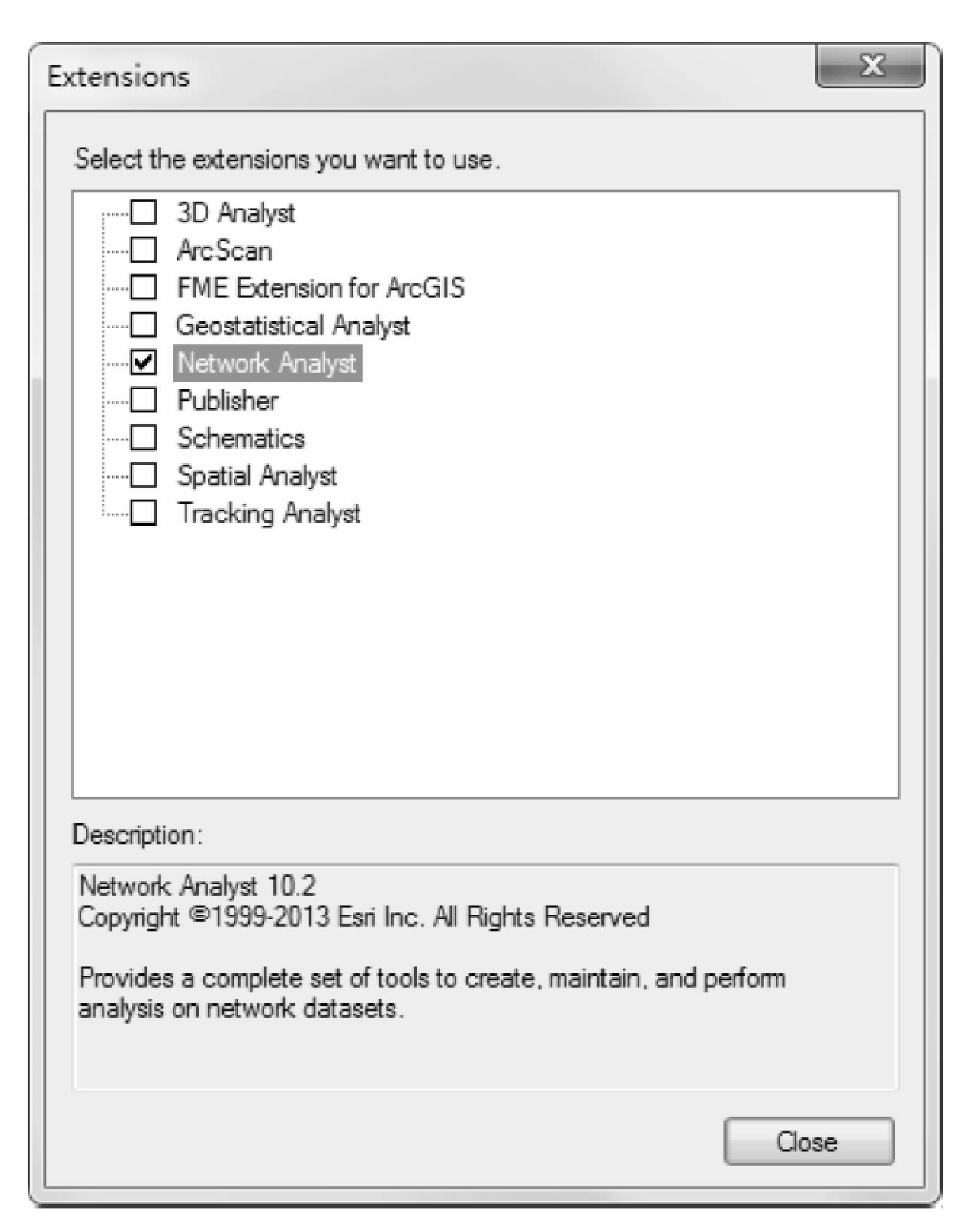


图 4-14　ArcGIS 中的网络分析扩展模块

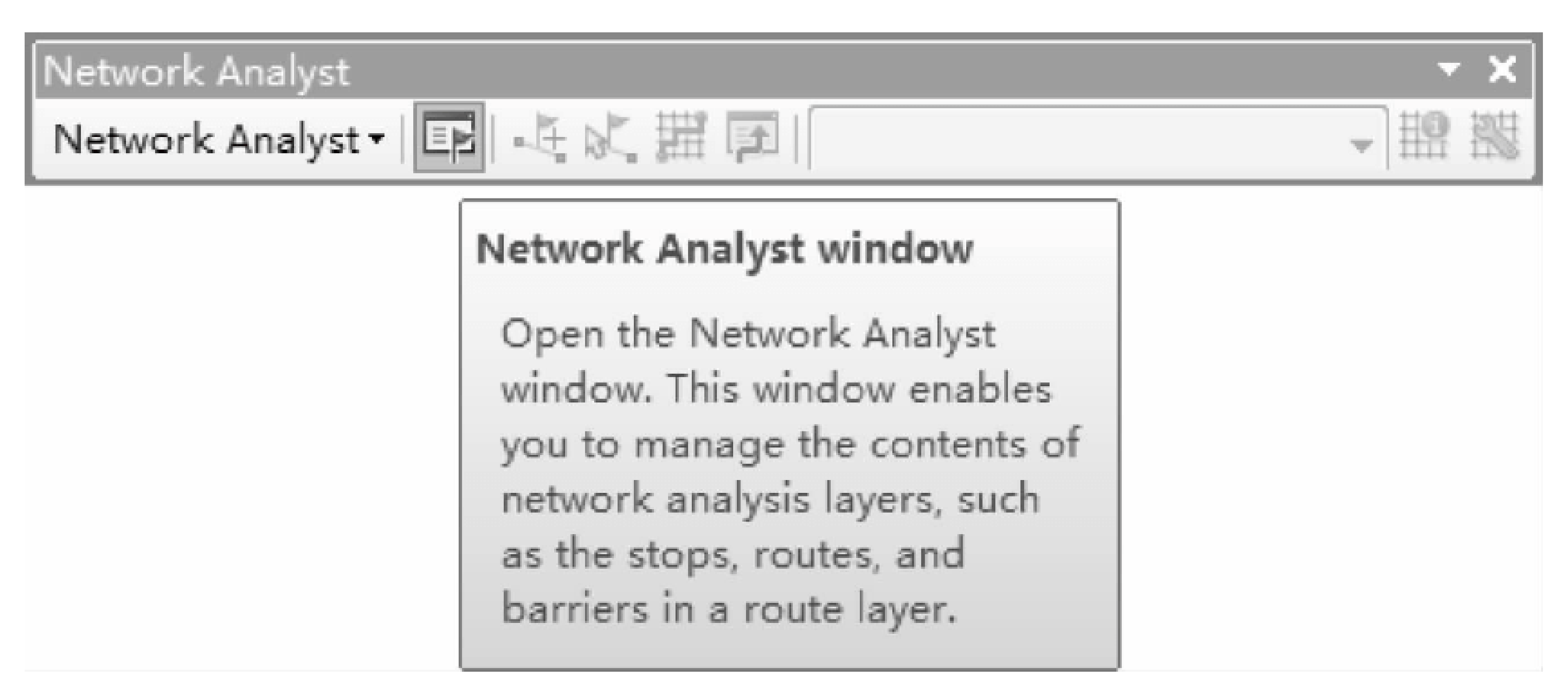


图 4-15　网络分析工具条

Station)等四类，点要素包括地铁入口(Metro_Entrances)和地铁站(Metro_Stations)两种。

利用 Transportation 要素数据集中的所有要素类作为源数据，创建网络数据集。创建网络数据集过程中，最重要的两个步骤是设置连通性和设置网络属性，这两个步骤均可通过新建网络数据集向导完成。右键单击 Transportation 数据集，选择“新建(New)|网络数据集(New Network Dataset)”，打开新建网络数据集向导(见图 4-16)。

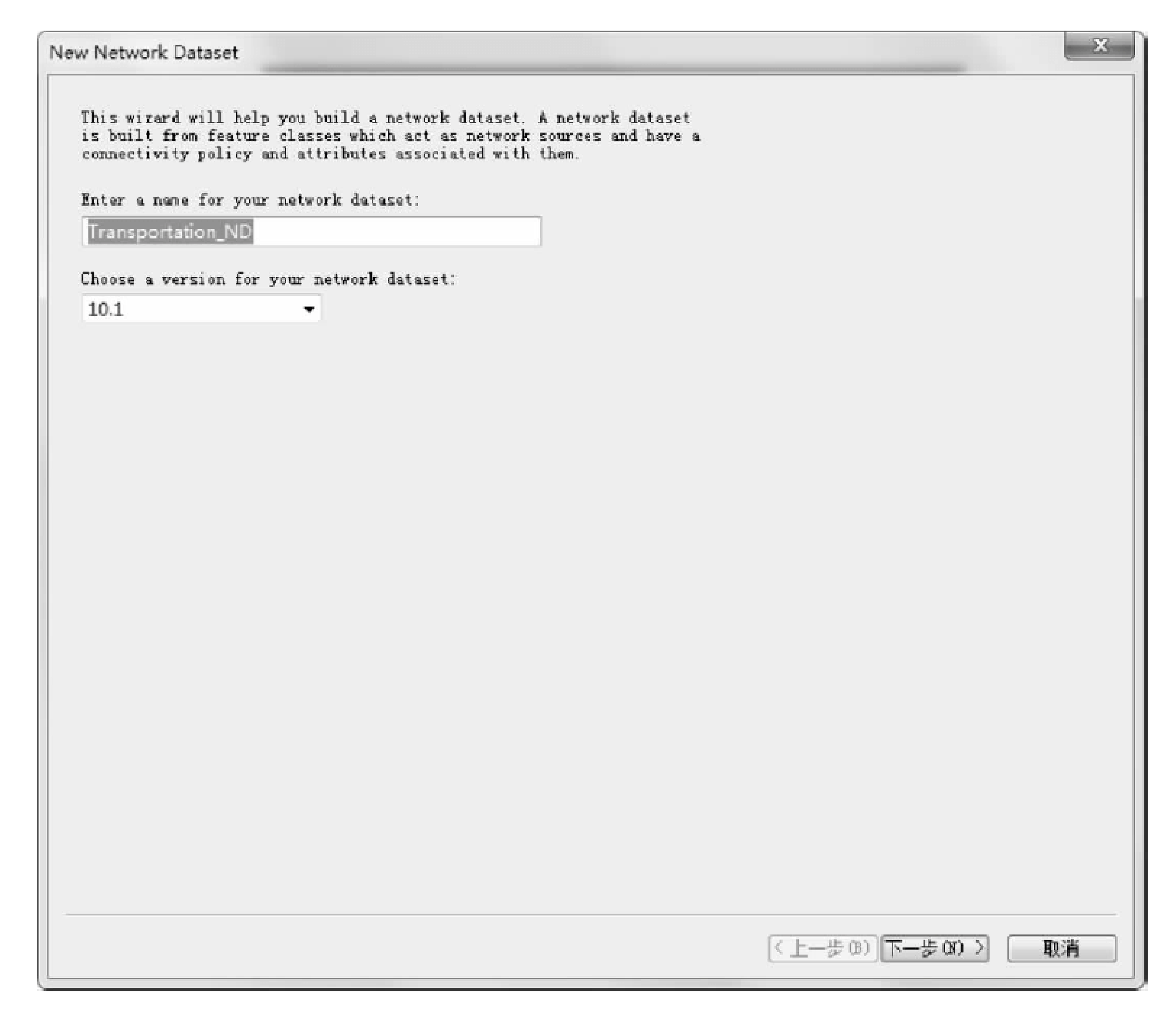


图 4-16　新建网络数据集向导

在图 4-16 中输入网络数据集名称和版本，单击“下一步”，选择要添加到网络数据集的数据源（见图 4-17）。根据题意，全选所有要素类。

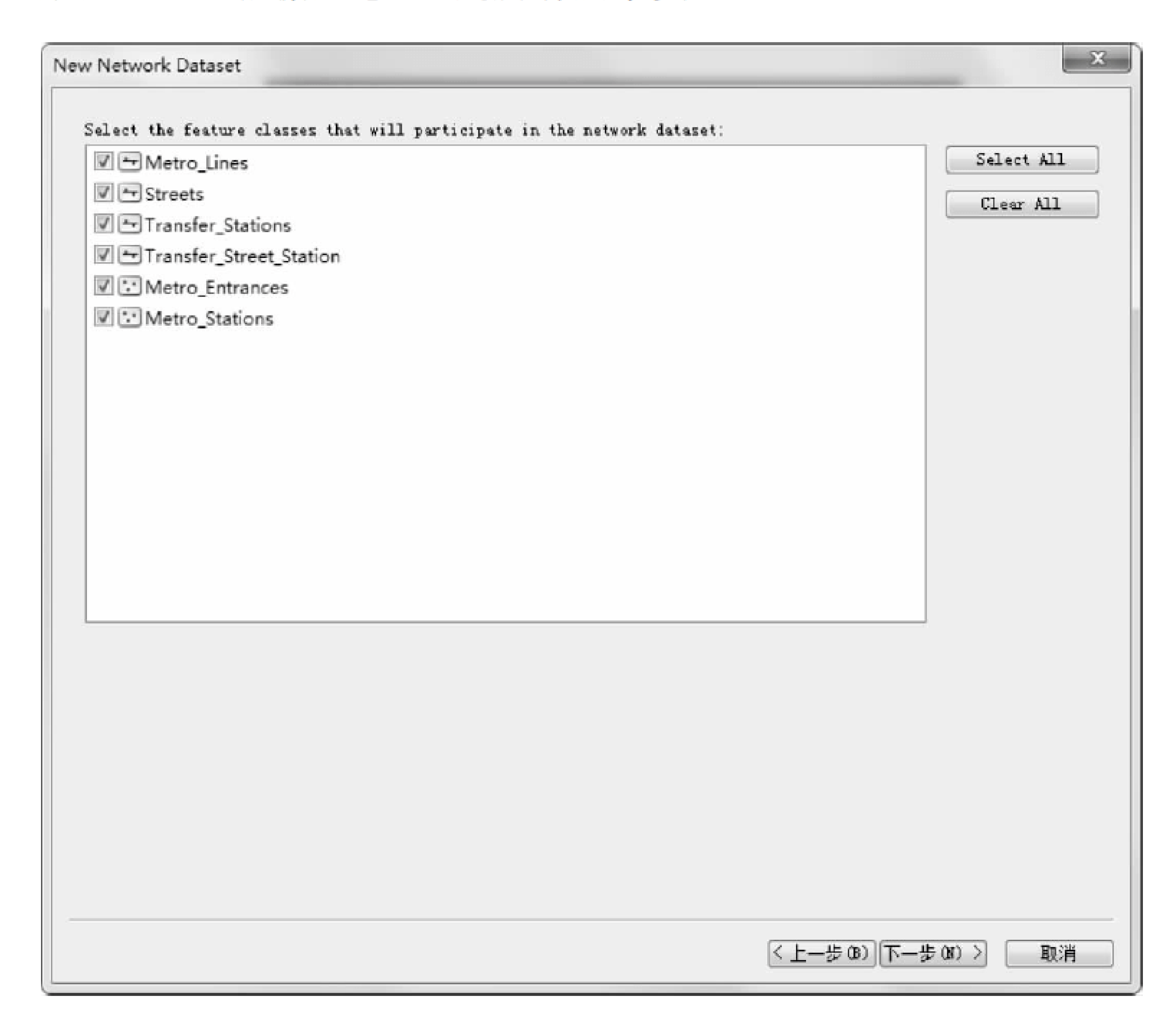


图 4-17　选择所有要素类添加到网络数据集

单击“下一步”，在网络中构建转弯模型(见图 4-18)，尽管在 Transportation 要素数据集中没有包含与转弯模型相关的要素类，但是此处选择“是”将允许网络数据集支持通用转弯并为您提供在创建网络后随时添加转弯要素的选项。

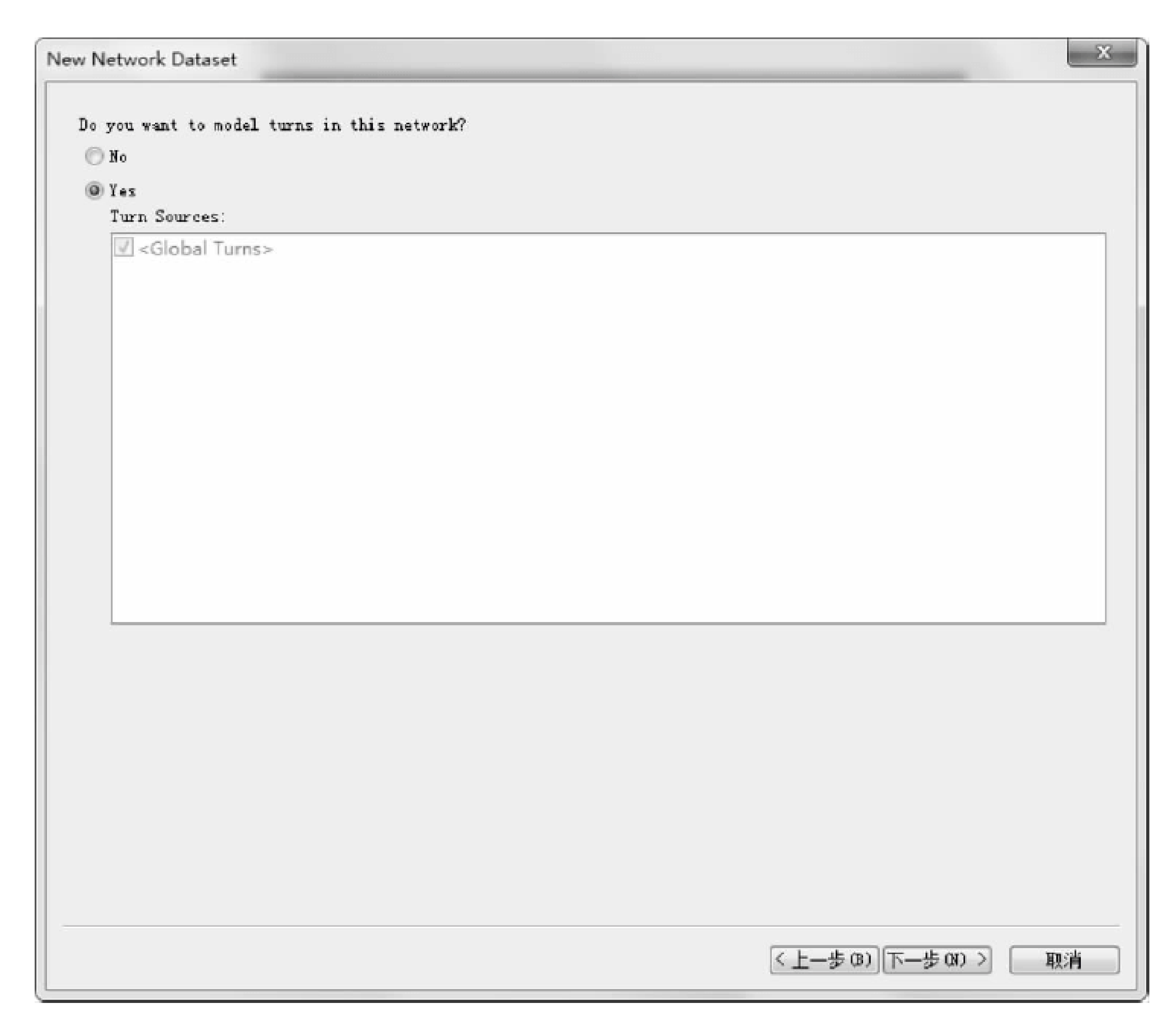


图 4-18 构建转弯模型

单击“下一步”，进入连通性设置界面(见图 4-19)。

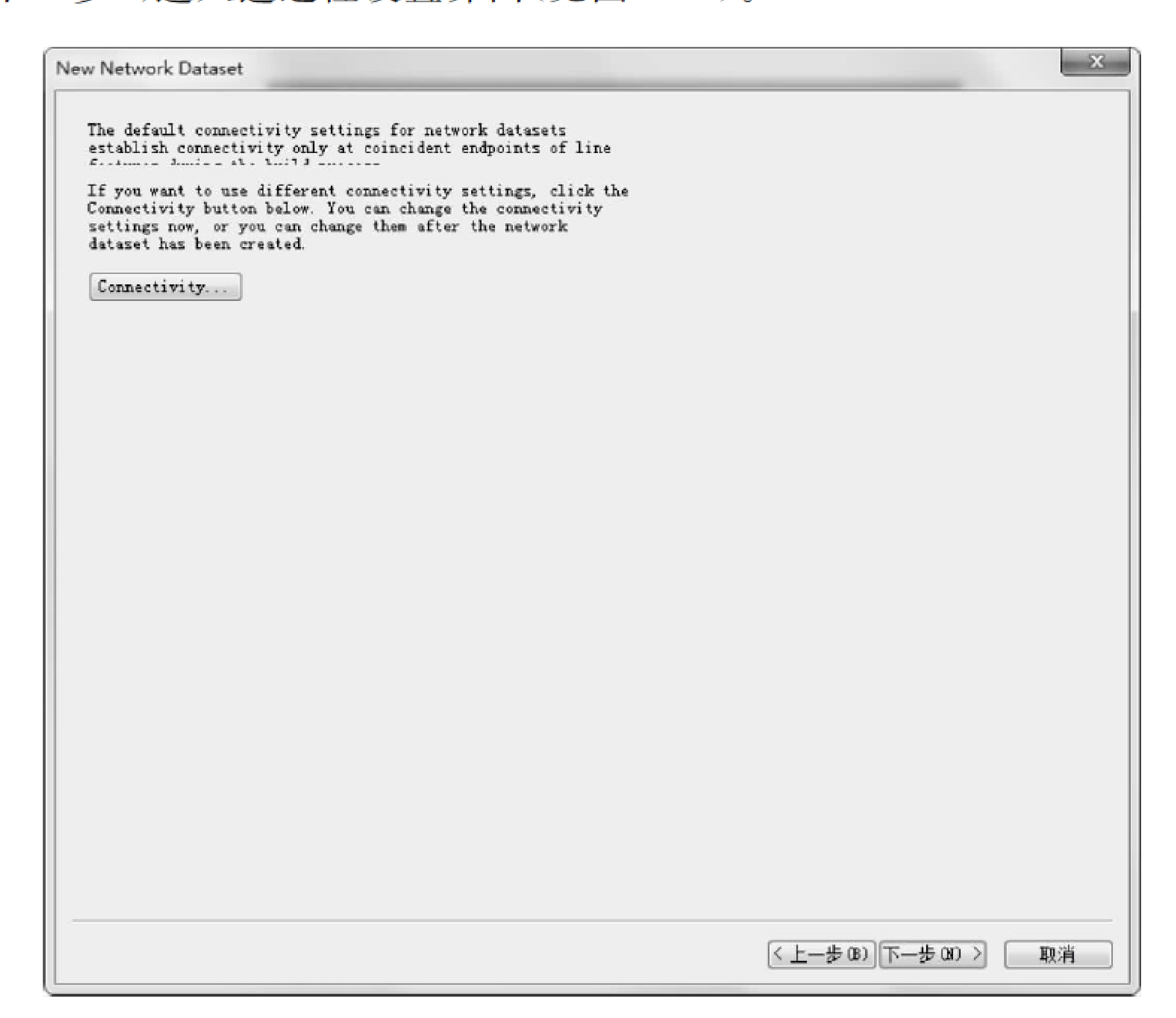


图 4-19 设置连通性

(2) 正确设置网络的连通性，关系到接下来各种网络分析图层的分析结果，因此需要仔细考量并正确分类网络数据集中的边与交汇点。单击连通性(Connectivity...)按钮，进入连通性设置界面(见图 4-20)。

创建地铁网络和街道网络两组连通性组，设置地铁口作为两组网络的交汇点。设置地铁与街道均为端点连通，设置地铁口的连通性策略覆盖街道的连通性策略。这样地铁网络与街道网络只会在地铁口处连通，而地铁口可以位于街道端点，也可以位于街道折点。

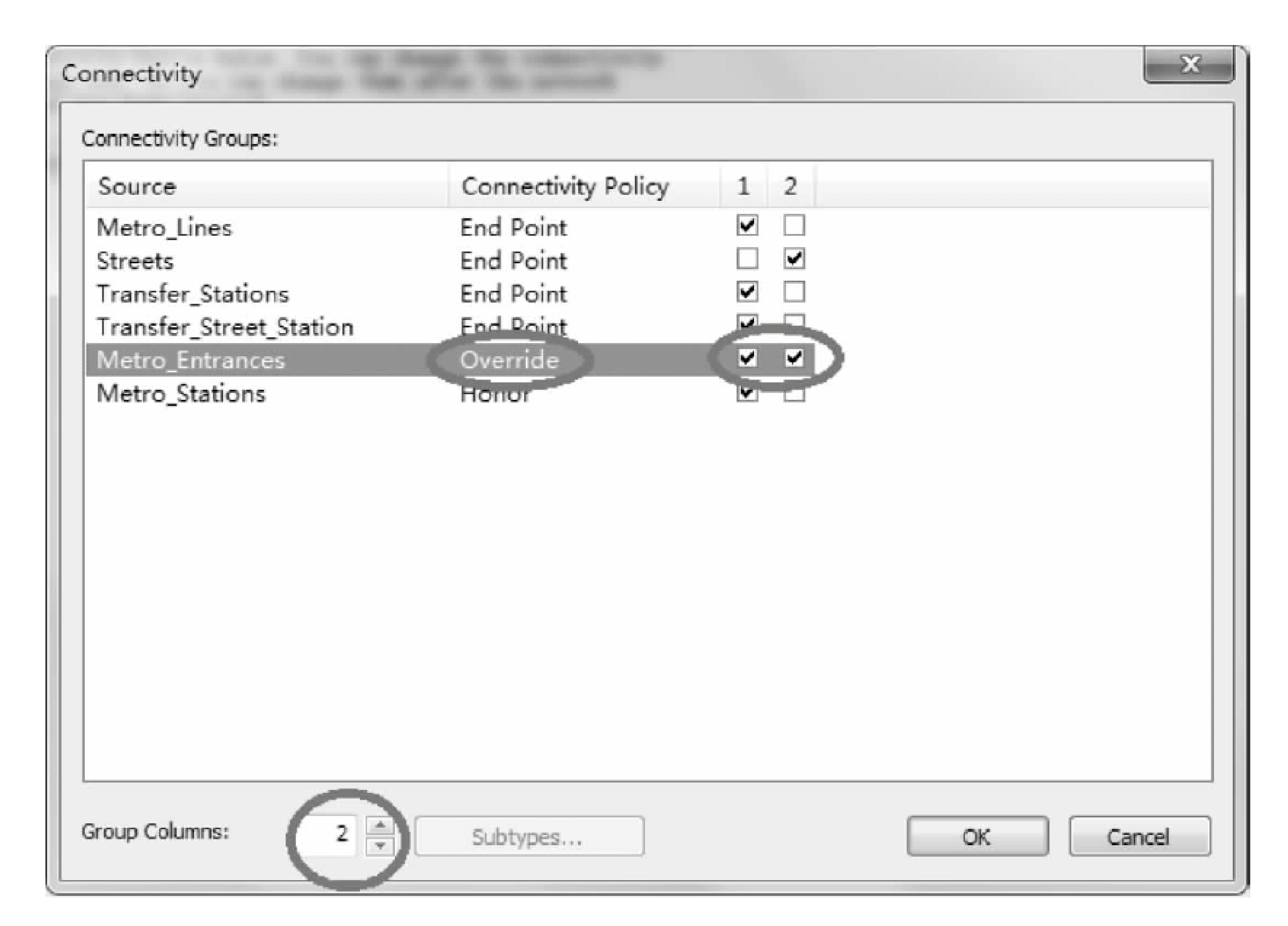


图 4-20　设置网络的连通性

本实验提示 2：地铁口的连通性策略覆盖街道连通性策略，并不意味着地铁口能够位于街道上的任意位置。注意网络中的任何边本身只能在端点或者折点连通，因此地铁口必须位于街道与地铁的端点或者折点处。

确定后单击“下一步”，设置高程策略。该数据集没有高程数据，因此选择“无”即可(见图 4-21)。

本实验提示 3：网络分析模块支持高程模型。假设两条边在某个端点(X，Y)坐标重合，但高程(Z 坐标)不同，连通性策略为端点连通，如果忽略高程，则这两条边连通，如果考虑高程，则这两条边不连通。

(3) 编辑网络属性

设置完高程策略后，单击“下一步”，进入网络属性设置界面，如图 4-22 所示。该界面显示了网络属性的名称、类型、单位与数据类型，右侧按钮提供了针对每个网络属性可执行的操作项，比如添加、删除、重命名、设置范围、参数、赋值等。可以看到 ArcMap 默认设置了等级(Hierarchy)、成本(Meters、Minutes)、约束(Oneway)、描述(RoadClass)四种网络属性，用户的任务是删除不必要的网络属性，修改未正确赋值的网络属性，以及添加必要的网络属性。

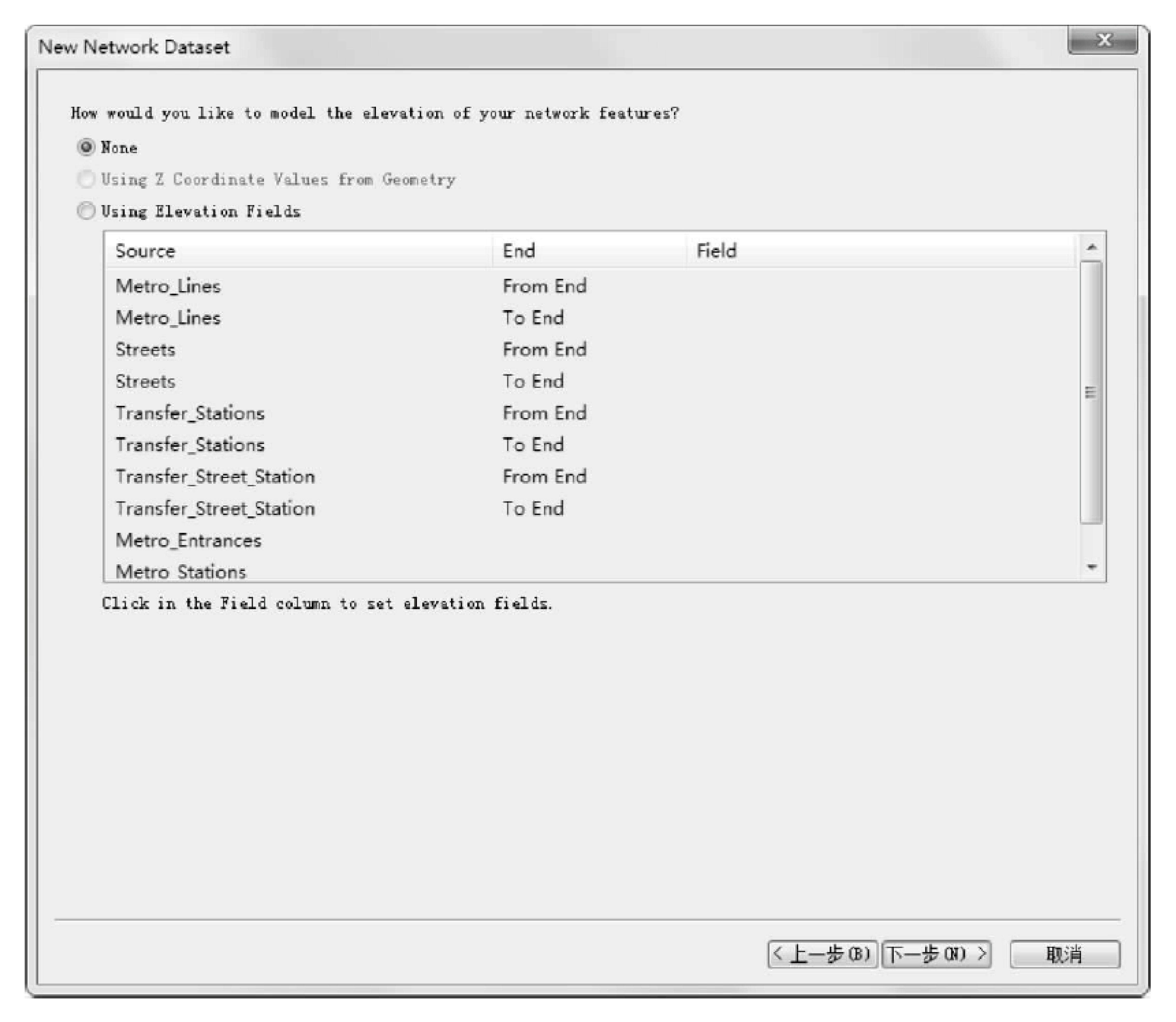


图 4-21　设置高程策略

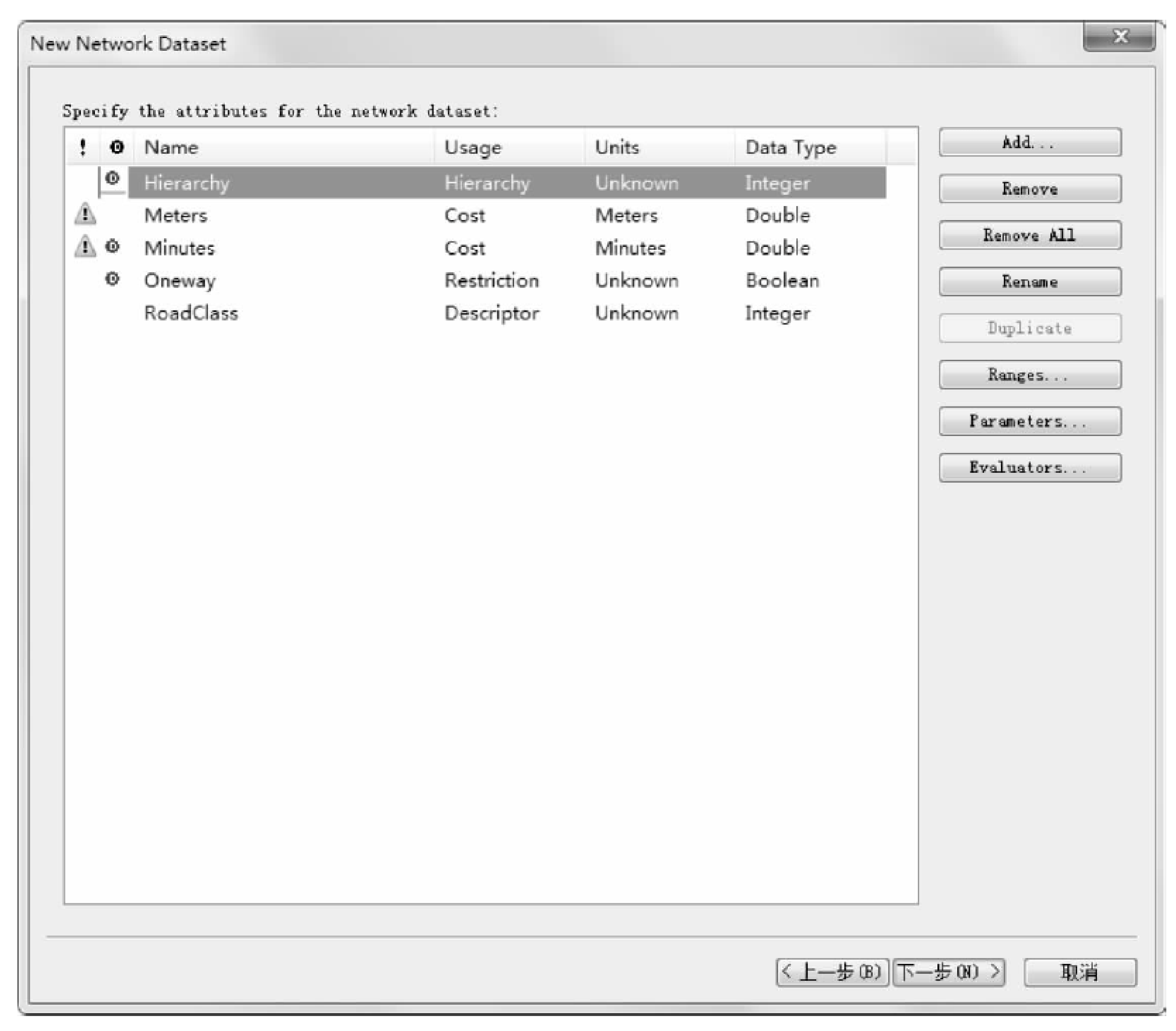


图 4-22　设置网络属性

本实验提示 4：注意图 4-22 中，部分网络属性名称前面有黄色警告标志，这表示该网络属性未正确赋值，需要进行编辑或修改；部分网络属性名称前面有蓝色“D”标志，表示该属性为默认网络属性（Default），在网络分析时会默认选择，比如成本属性有距离成本 Meters 和时间成本 Minutes 两种，其中时间成本前面有蓝色“D”标志，则在路径分析过程中会默认使用时间成本，而非距离成本。可右键单击距离成本 Meters，选择“设为默认（Use By Default）”，修改默认成本网络属性。

删除等级（Hierarchy）和道路类型（RoadClass）网络属性。

在接下来的路径分析中，可能需要使用距离成本（最短路径）或者时间成本（最快路径），而由于地铁网络中车辆不可通行，因此时间成本又可分为仅在街道网络通行的时间成本和综合利用街道与地铁网络的时间成本。

选择距离成本属性 Meters，单击右侧“赋值器（Evaluators）”，打开赋值器窗口，如图 4-23 所示。窗口列出了与距离成本属性相关的所有网络元素，对比 Transportation 数据集，可以发现交汇点只具有一个成本属性，而边元素均具有两个成本属性，方向分别是“From-To”和“To-From”，这是因为边是双向通行的，从 A 端点流通到 B 端点所需的成本不一定等于从 B 端点返回 A 端点所需的成本。

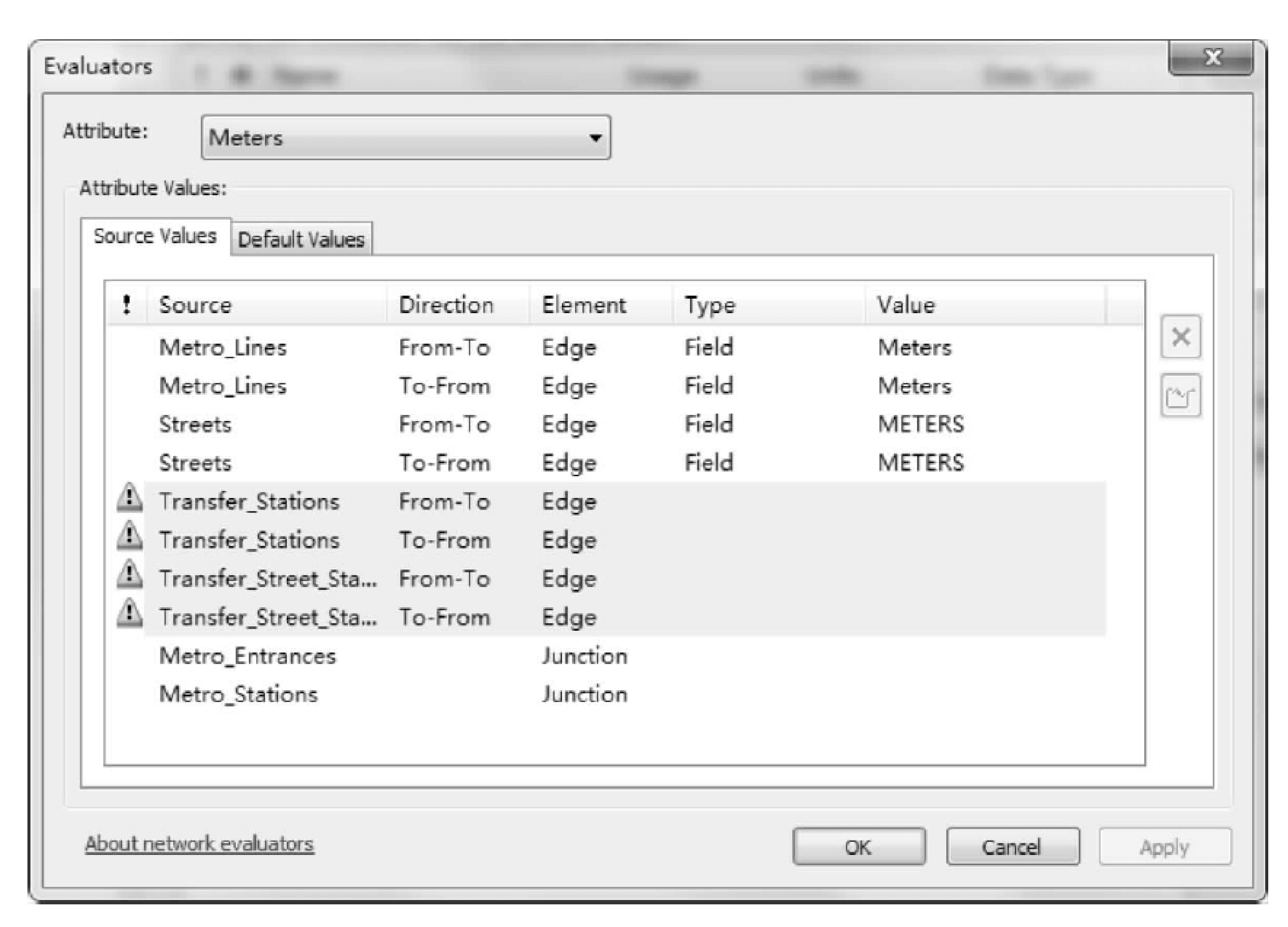


图 4-23　赋值器窗口

地铁线（Metro_Lines）和街道（Streets）元素已经被赋予了对应源要素的 Meters 字段属性，而中转站（Transfer_Stations 和 Transfer_Street_Stations）元素前面仍有黄色警告标志，标识未被正确赋值。如图 4-24 所示，单击 Transfer_Stations 一行的“类别（Type）”项，可以看到赋值器有字段（Field）、常量（Constant）、函数（Function）、脚本（Script）四种类型，最常用的是字段赋值器，当选定字段赋值器后，ArcMap 会列出可选择的字段名称，将 Transfer_Stations 和 Transfer_Street_Stations 的成本属性值都取 Shape_Length 字段。关于其他几种类型赋值器的使用方法，可以参考 ArcGIS 的帮助文件。

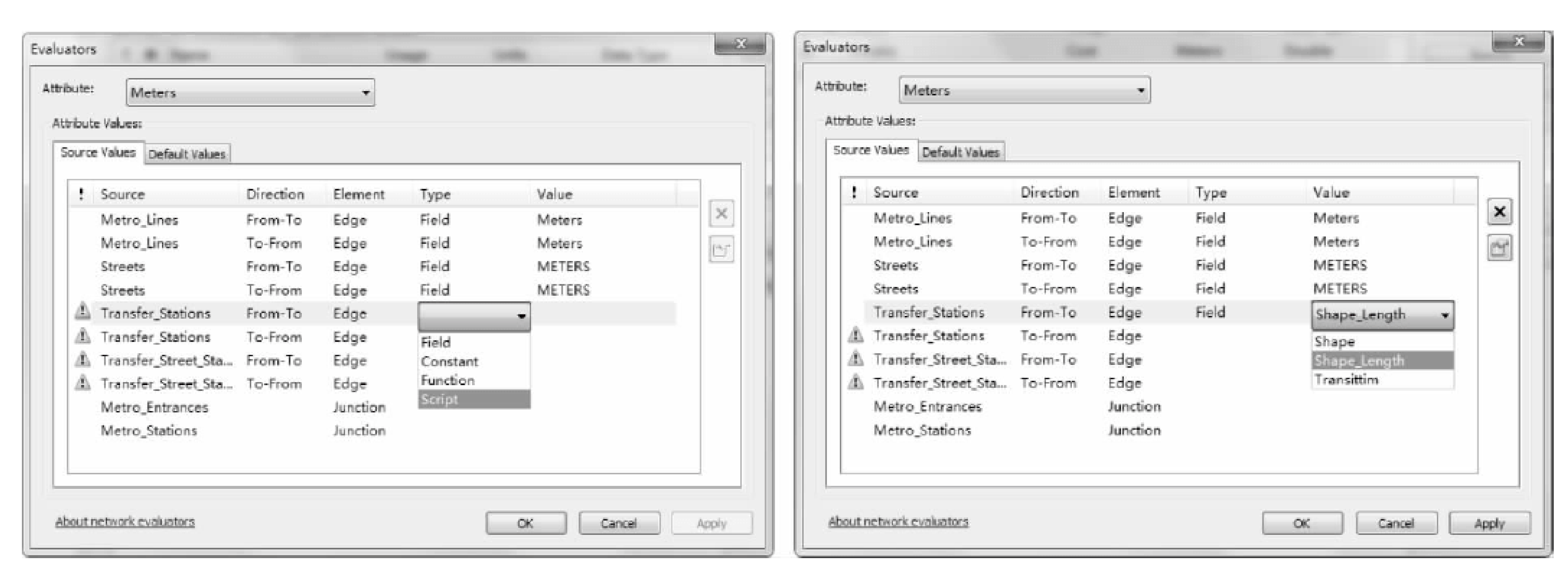


图 4-24　为网络元素赋值

本实验提示 5：ArcMap 能够自动识别源要素的属性值，比如上图中 Metro_Lines 源要素中包含 Meters 字段，与网络属性同名，则 ArcMap 会默认将该属性作为的 Metro_Lines 元素的距离成本，而 Transfer_Stations 源要素不包含与“meters”关键词相关的属性字段，因此 ArcMap 无法为其找到合适的距离成本属性，但是选定字段赋值器后，ArcMap 会列出 Transfer_Stations 要素属性中与距离长度相关的所有字段名称，供用户选择。

将已有的时间成本 Minutes 属性改名为 DriveMinutes，以表示仅利用街道网络通行的时间，并新添 PedestrianTime 成本属性，以表示综合利用街道与地铁网络的时间。为两个时间成本属性正确赋值(见图 4-25)。

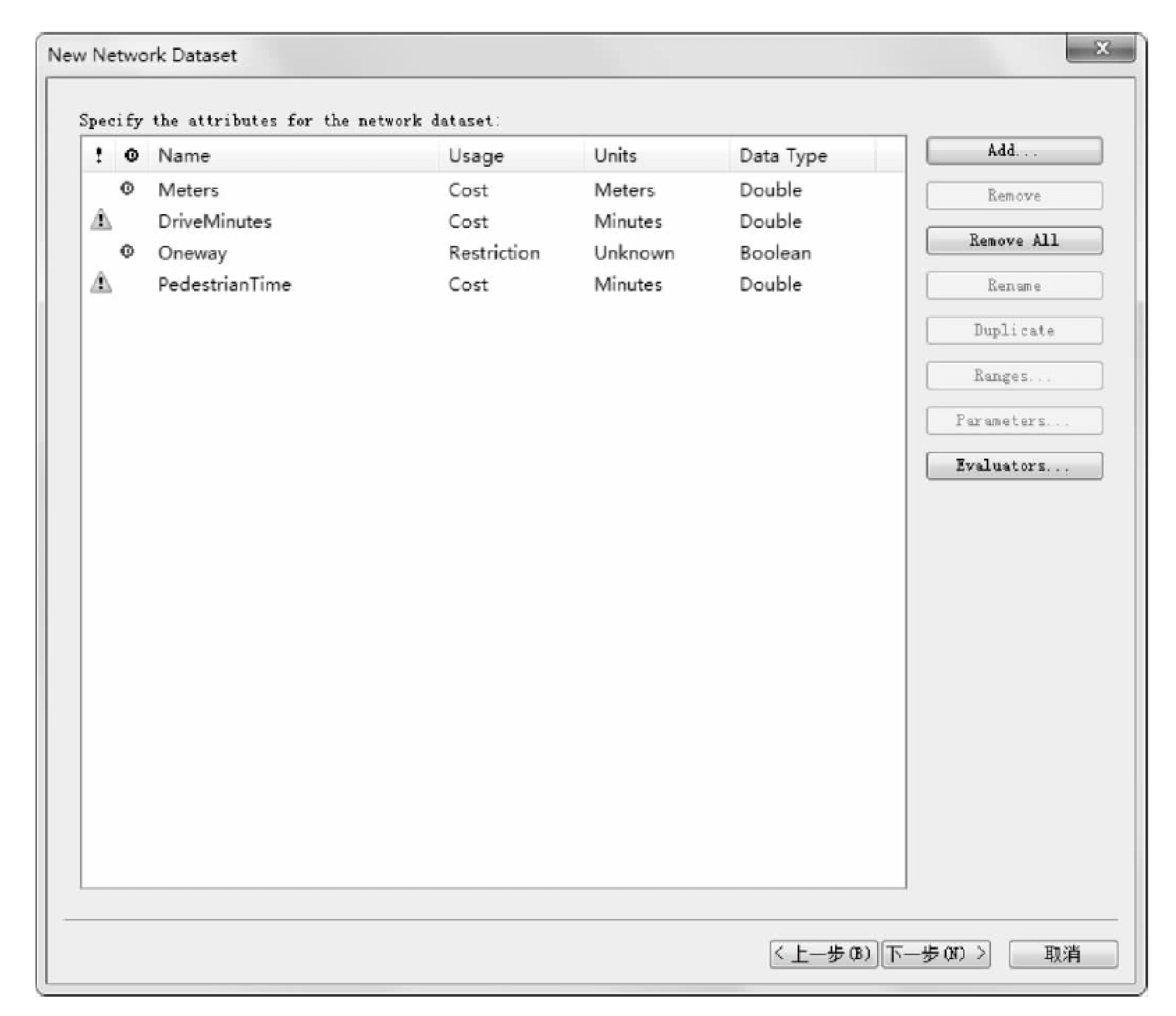


图 4-25　新增网络属性

对于 DriveMinutes 成本属性来说,地铁网络是不可穿越的,将其值均设为常量−1,网络分析模块会自动识别并将成本为−1 的元素视为受限元素(见图 4-26)。

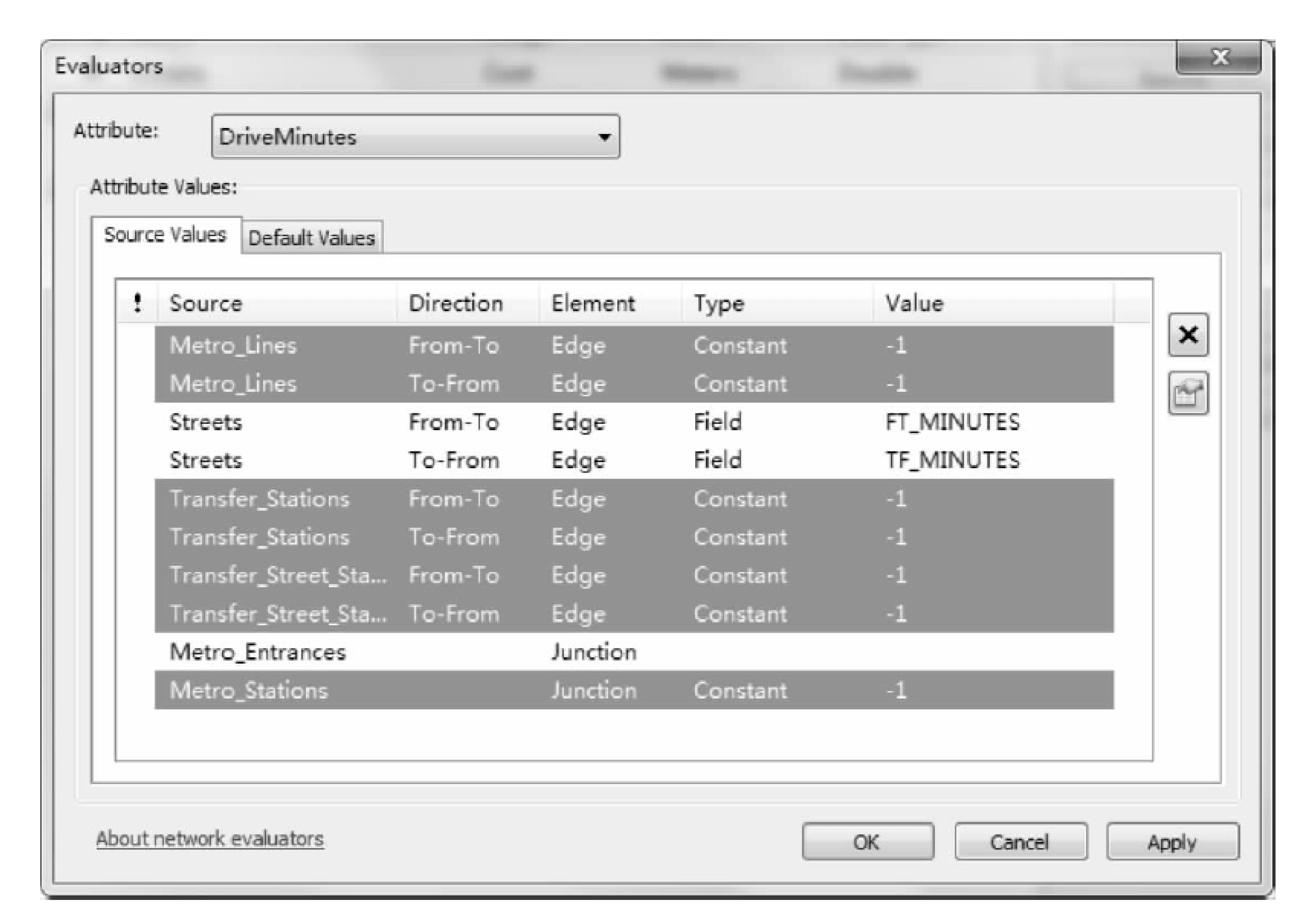


图 4-26　设置受限元素的属性值

对于 PedestrianTime 成本属性来说,穿越地铁网络所需的时间可以用 TransitTim 字段值,而穿越街道网络的时间要视交通方式而定,如果是驾驶车辆,则可以用默认的 FT_Minuites(FT 表示 From_To)和 TF_Minutes(TF 表示 To_From),如果是步行,则 Streets 源要素没有现成的属性字段可用,此时可以用字段表达式赋值器做一些简单的运算,假设步行速度为 50 米/分钟,则穿越街道网络所需的步行时间为距离除以速度(见图 4-27)。

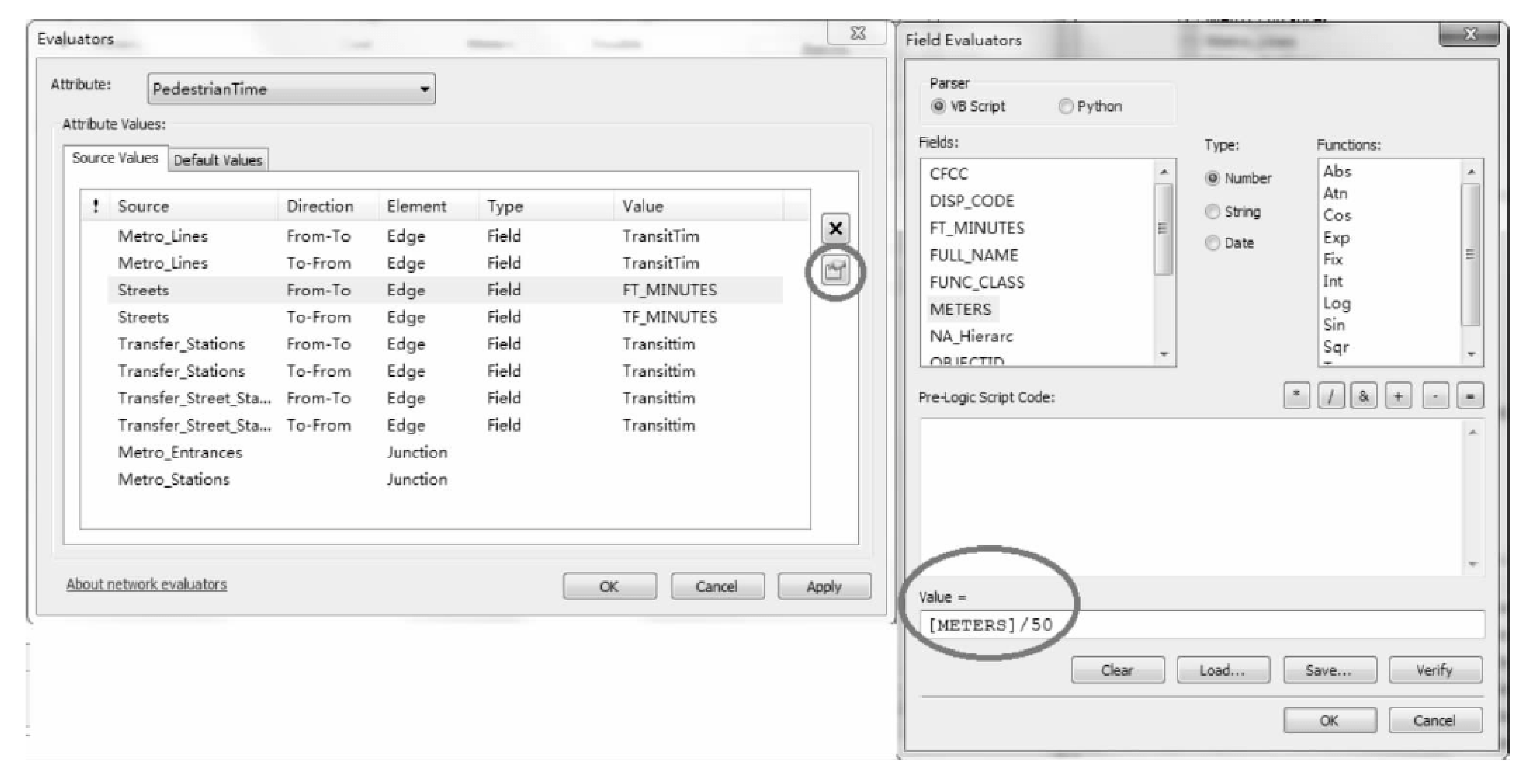


图 4-27　利用表达式为网络属性赋值

约束属性 Oneway 用于约束街道是否是单行道，因此该属性只对在街道上驾驶车辆有效，对地铁网络以及街道上的步行者无效。在执行网络分析时要注意根据实际情况选择是否要启动单向约束（见图 4-28）。需要注意的是，Streets 源要素本身必须具有 Oneway 属性字段，否则该约束属性无法定义。打开 Oneway 属性的赋值器，可以看到它已被自动指定到 Streets 源，打开查看其表达式，该表达式说明当 Oneway 属性取值为“N”、“TF”、“T”时，街道元素将使用约束条件。

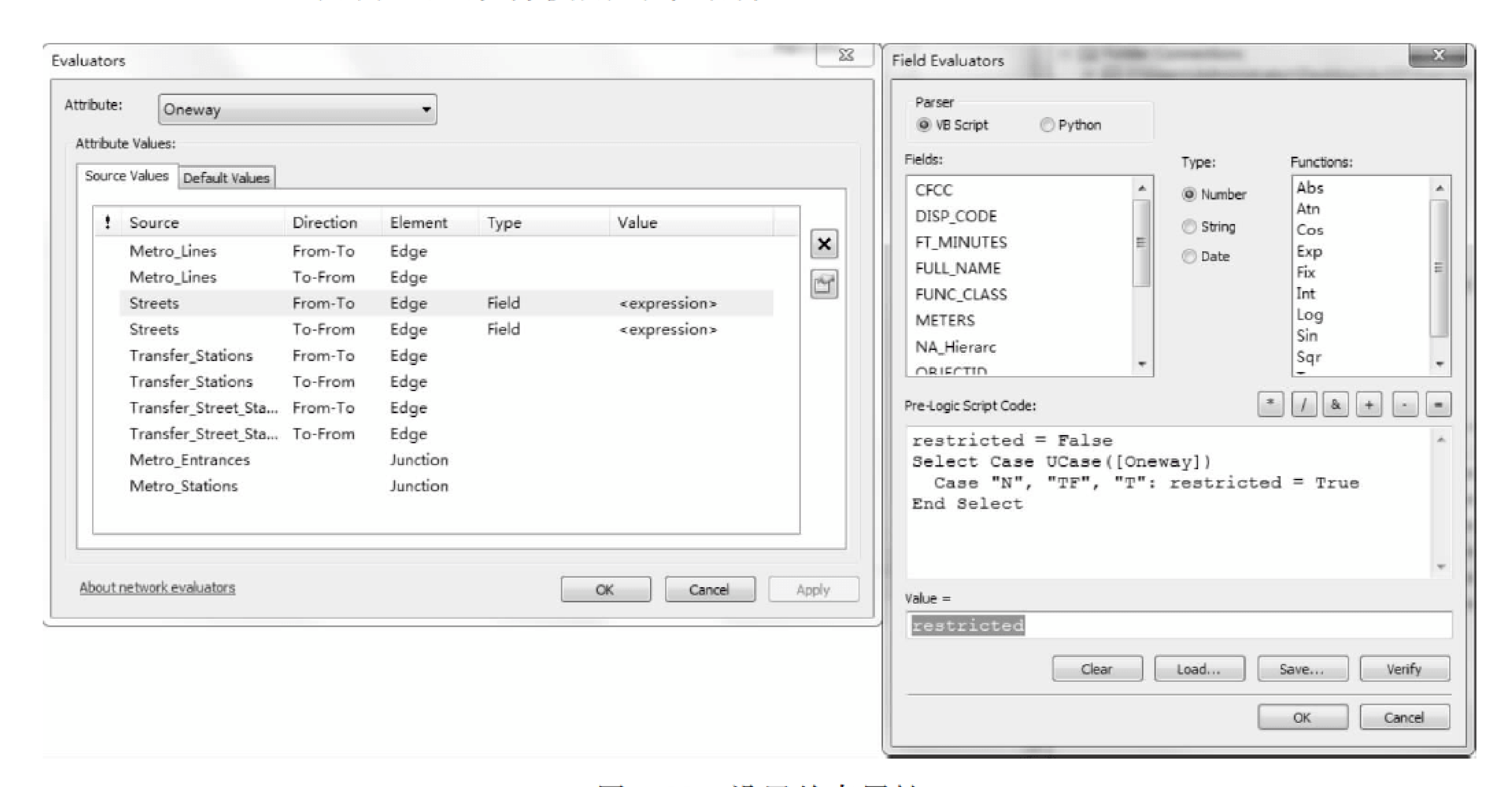


图 4-28　设置约束属性

本实验提示 6：用于约束街道单向行驶的字段可以取任意值，网络分析模块识别规则为：

“N”——双向都不允许行驶；

“FT”和“F”——仅允许沿线要素的数字化方向行驶（From—To 方向）；

“TF”和“T”——仅允许沿与线要素数字化方向相反的方向行驶（To—From 方向）；

其他任意值——双向都允许行驶。

配置完所有的网络属性后，单击“下一步”，进入方向设置。

（4）配置网络方向属性

当利用网络分析模块计算路径的时候，可以同时得到行驶方向，就像我们在使用导航软件的过程中，除了找到最佳路径之外，还能在行驶过程中获得街道名称、行驶距离、转弯方向等提醒。在网络方向属性设置界面可设置用于报告方向和标识街道的字段。如图 4-29 所示，设置后将使用 Meters 网络属性计算距离，使用 DriveMinutes 网络属性计算时间，使用街道的全名报告行驶路段，使用英里（Miles）单位报告行驶距离。

确定后单击“下一步”，显示所有的设置信息，查看后单击“完成”，开始创建新的网络数据集。

（5）构建网络，并加载到 ArcMap 中

创建完成后，系统会询问您是否要构建网络数据集（Build Network Dataset），只有构

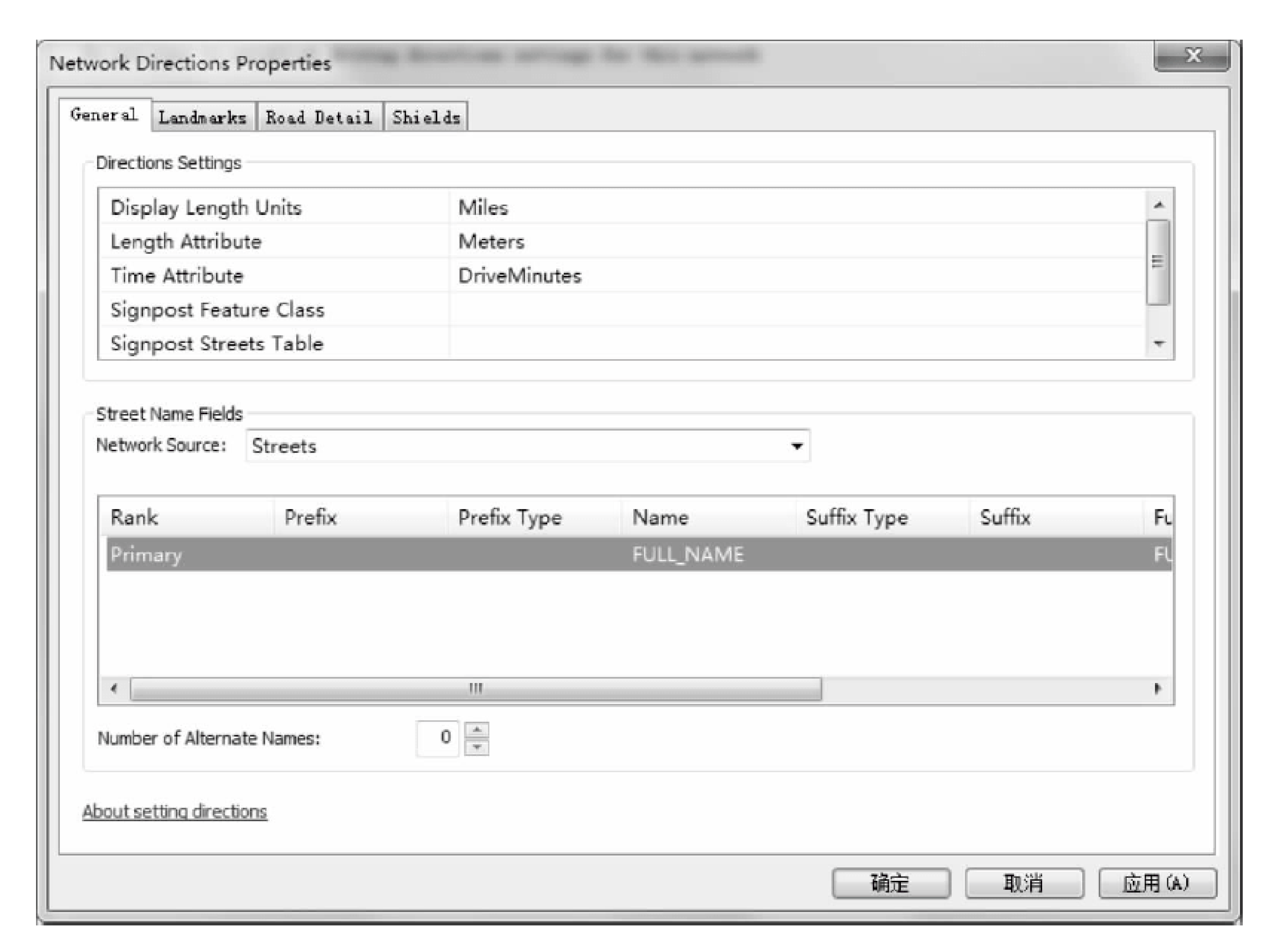


图 4-29 设置网络方向

建网络才能对其执行网络分析，因此必须选择“Yes”(见图 4-30)。

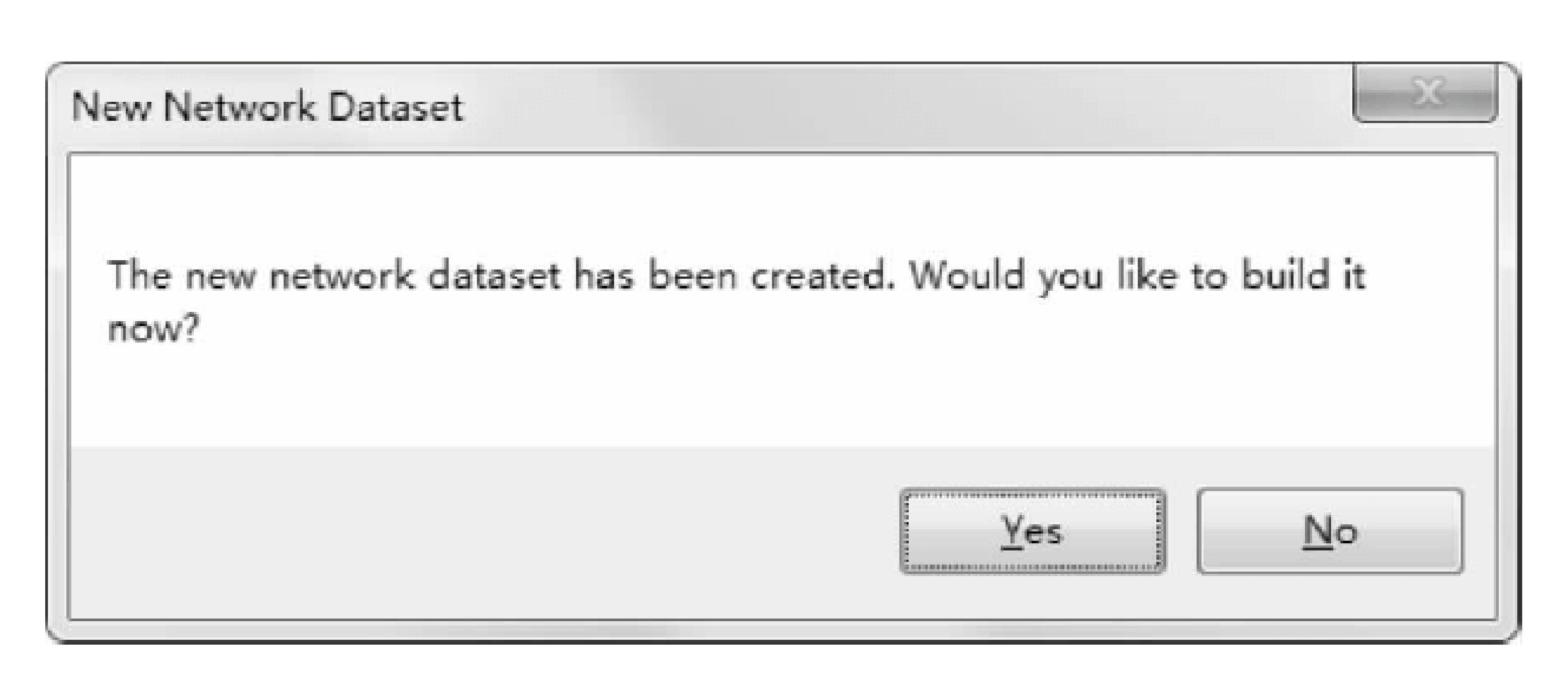


图 4-30 构建网络

构建完成后，系统询问是否要将网络数据集涉及的所有要素均添加到数据框中，根据需求选择是或否。查看 Catalog 窗口，新的网络数据集 Transportation_ND 和系统交汇点要素类 Transportation_ND_Junctions 均添加到了 Transportation 数据集中。

(6) 当发现网络数据集中存在错误时，可以在 Catalog 窗口右键单击网络数据集，打开其属性窗口进行修改，注意修改后必须重新构建网络数据集，并重新将其添加到 ArcMap 数据框中。

4. 路径分析

1) 创建路径分析图层，利用多种方法添加网络分析对象。

(1) 新建路径分析图层，打开网络分析窗口。

打开网络分析工具条上的网络分析(Network Analyst)下拉菜单，选择“新建路径(New Route)”，并单击其右侧的“网络分析窗口(Network Analyst window)”按钮，如图 4-31 所示，路径网络分析图层包含停靠点、路径、点障碍、线障碍和面障碍五种网络分析类，目前还未添加任何网络分析对象，因此每个网络分析类后括号里的数字均为零。

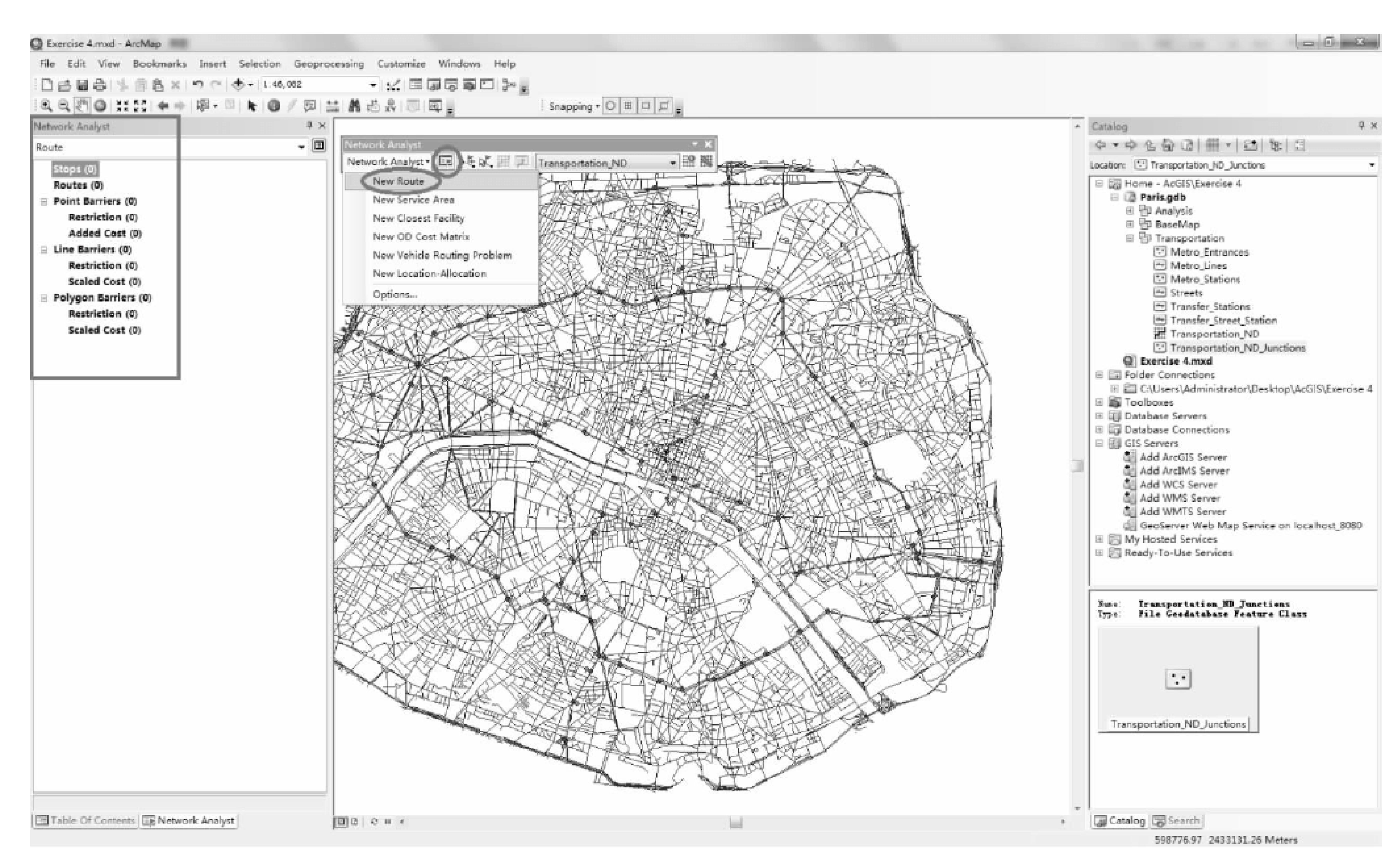


图 4-31　网络分析类型和网络分析窗口

（2）在地铁口边上添加两个停靠点，采用不同的成本属性，查看分析所得的路径有何不同，注意单行道不能约束行人。

在网络分析窗口单击选中停靠点网络分析类，利用网络分析工具条上的“创建网络位置工具”，在地铁站入口附近通过单击添加两个停靠点（见图 4-32），可以看到网络分析类“停靠点（Stops）”下对应出现了两个网络分析对象，按顺序编号并按默认规则命名（可以右键单击打开属性表后重命名），如果放置的位置不合适，可以使用“选择/移动网络位置工具”拖曳移动。



图 4-32　添加停靠点

设置好停靠点后，单击打开网络分析图层属性对话框的分析设置(Abalysis Settings)选项卡，可以看到能够使用的网络成本有三项，使用默认的距离成本 Meters，并勾选单向网络约束(Oneway)，单击“确定”(见图 4-33)。

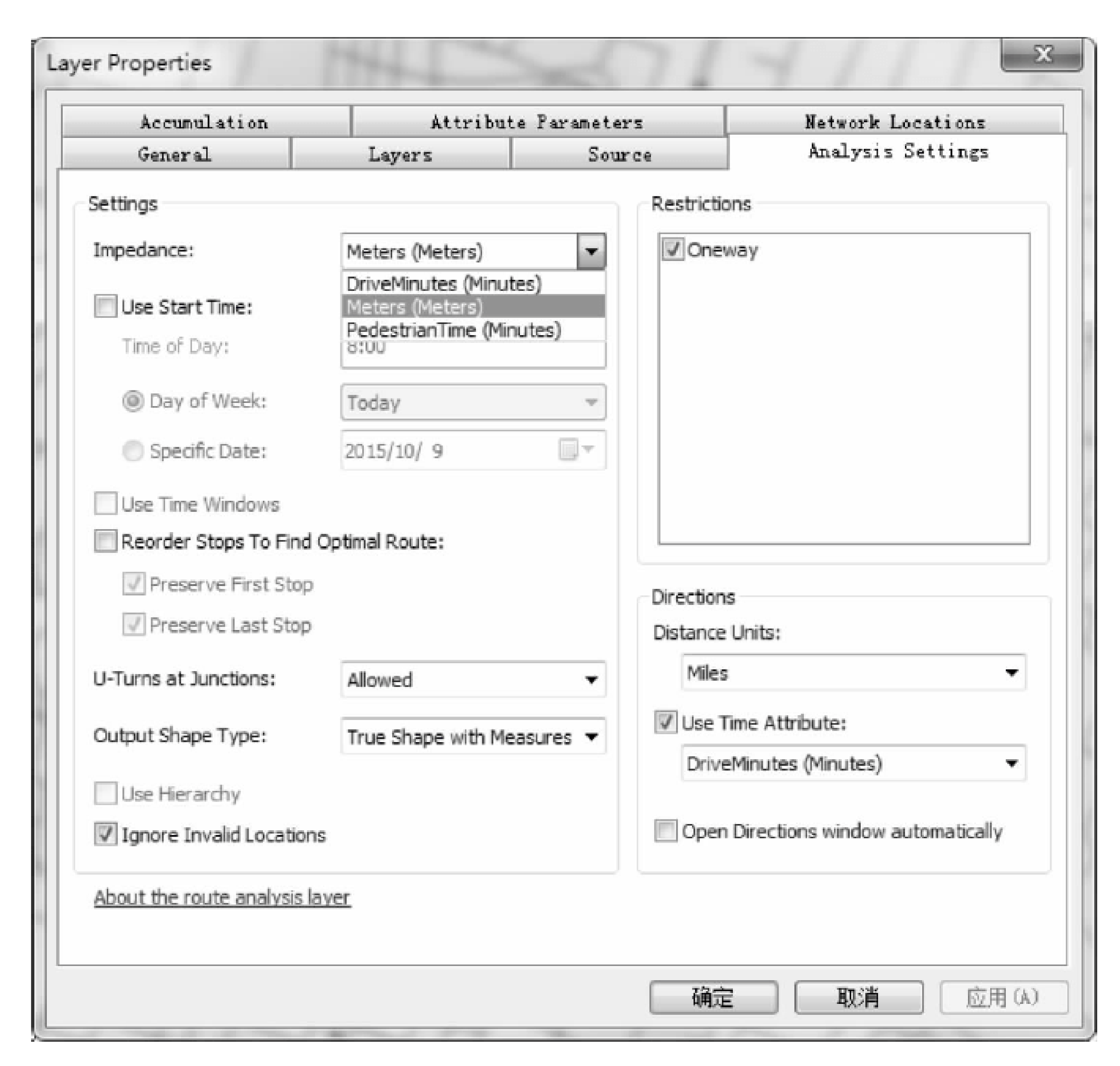


图 4-33 分析设置窗口

单击网络分析工具条上的“求解”按钮，求解成功后，地图上出现一条连接两个停靠点的路径(见图 4-34)，左侧网络分析窗口创建了一个路径网络分析对象，右键单击打开其属性窗口，可以看到该路径起始点为 1 号停靠点，终止点为 2 号停靠点，总停靠点数为 2，总成本为 696.412753 米。

单击网络分析工具条上的“方向窗口”按钮，打开方向窗口，可以看到路径被分成多个小段，每一段行经哪些街道、行驶方向、距离多长、耗时多久均有明确的指示。

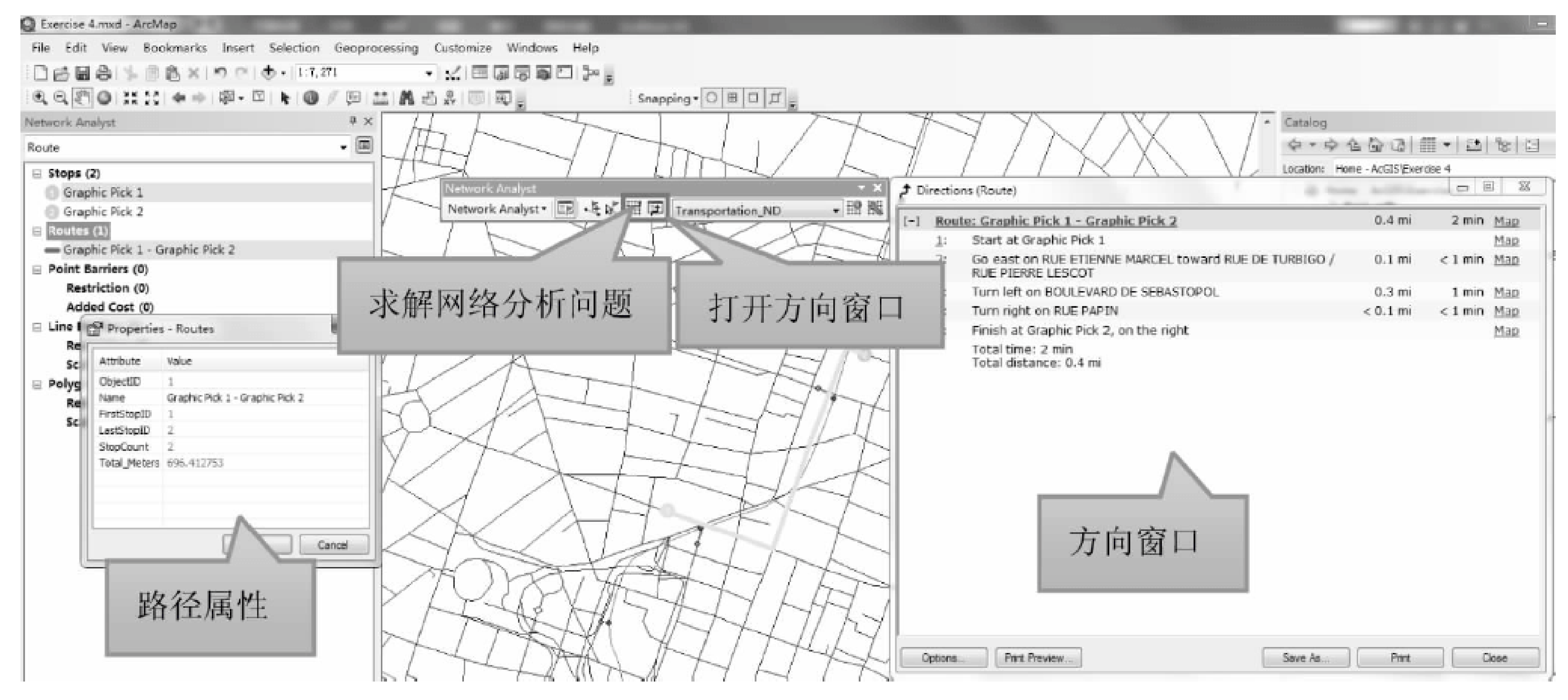


图 4-34 路径分析结果

将分析成本改为 DriveMinutes 和 PedestrianTime，再次执行路径网络分析，查看分析结果有何不同(见图 4-35)。注意使用 PedestrianTime 时不能勾选约束属性 Oneway，因为之前定义的 PedestrianTime 是行人的时间成本。可以看出，使用 PedestrianTime 成本时，分析出来的路径使用了地铁网络。

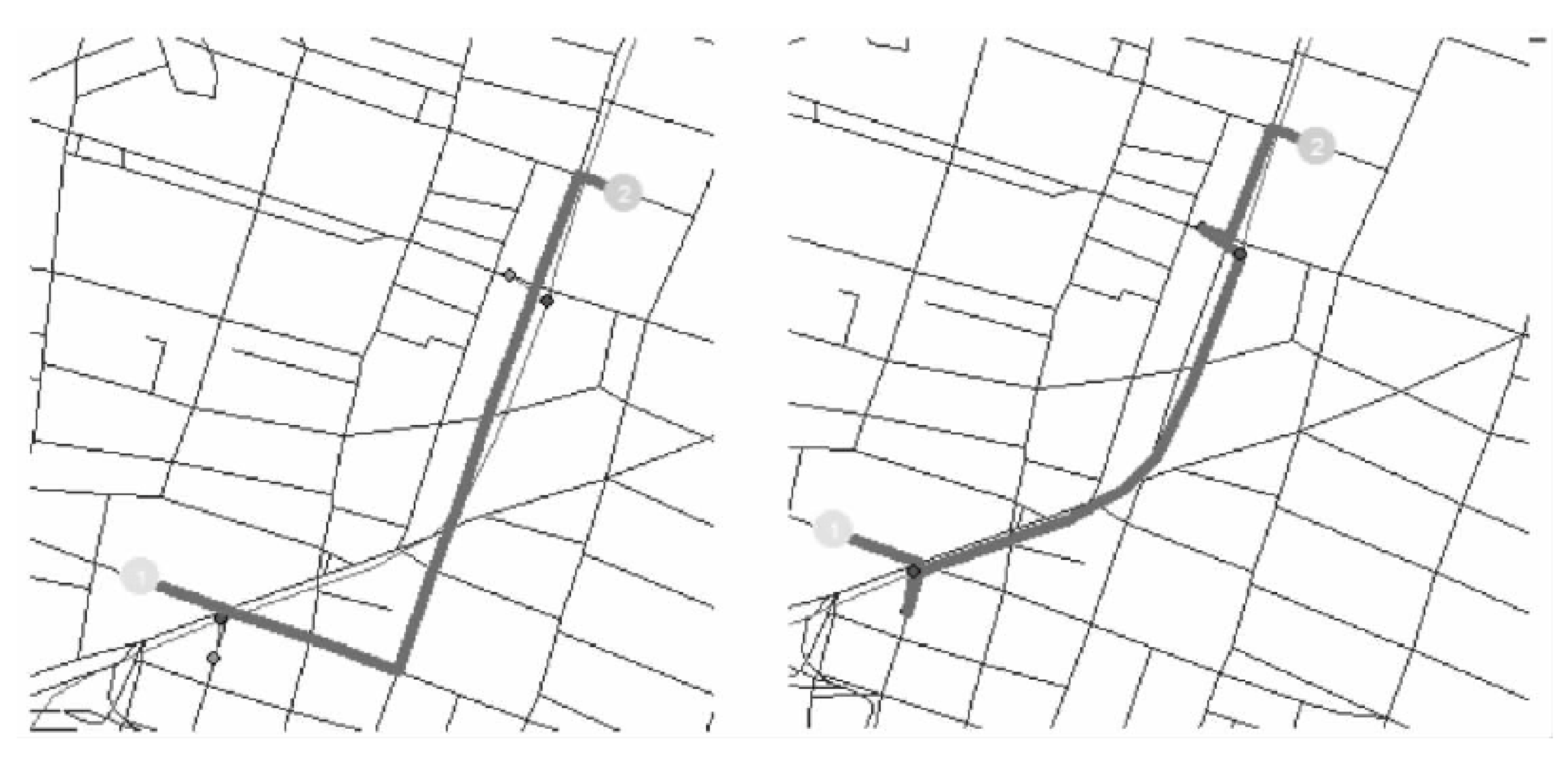


图 4-35　使用不同的分析成本得到的不同分析结果

(3) 将 Paris.gdb 中的商店要素类加载到地图中。

(4) 新建路径网络分析图层，采用加载位置命令(在停靠点上单击右键，选择“加载位置(Load Locations)”)将所有商店设置为停靠点，注意观察网络分析窗口，可以看到产生了 21 个停靠点。

2) 设置网络分析属性，尝试用不同的网络成本，寻找遍历商店的最佳路径，在分析设置选项卡上启动自动排序功能，求解最佳遍历顺序。图 4-36 是按距离成本，并考虑了单向约束后，执行路径网络分析后得到的结果，可以看出经过自动排序后最短遍历路径应以第 17 个商店为起始点，以第 16 个商店为终止点(商店按其属性表的 ObjectID 属性字段编号)，这种分析对于配送服务非常有意义。



图 4-36　寻找遍历商店的最优路径

3）添加障碍点，观察其引起的路径及成本变化。

假设上述分析所得路径中某一处正在施工，道路封闭，用添加一个障碍点（线、面）来模拟这种情况，重新执行路径分析。如图 4-37 所示，添加一个障碍线后，路径将改道，相应的，路径总成本会增加。

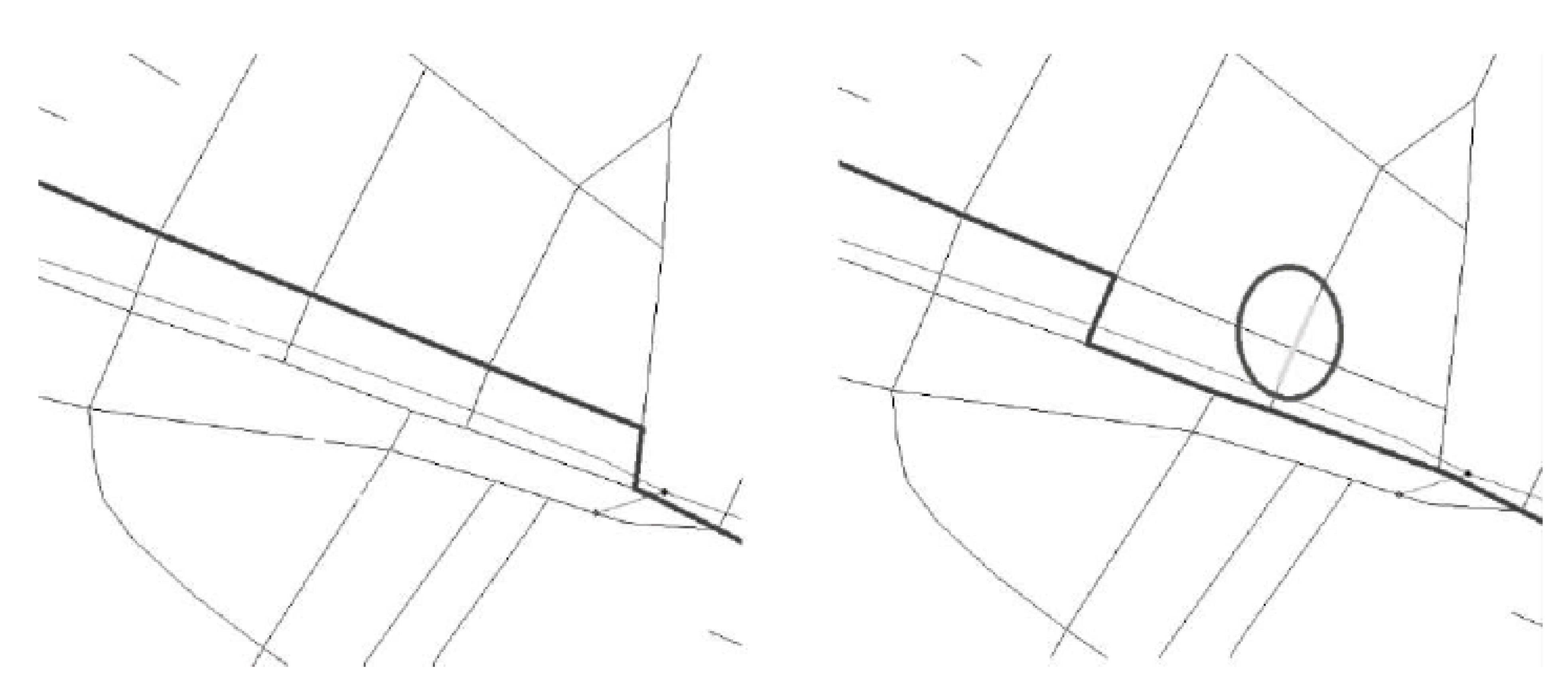


图 4-37　添加障碍点后路径分析结果的变化

5. 可以利用课堂练习数据练习最近设施点、服务区分析、OD 成本矩阵、车辆配送等分析操作

注：以上第五部分实验步骤主要参考 ArcGIS Desktop10.2 帮助文件“网络分析”的内容。

六、拓展练习

基于练习二输出的地理数据库和地图工程文件（内含深圳大学城清华园区应急空间信息数据），构建深圳大学城清华园区路网，用不同符号表示不同的道路类型，所有道路交汇点处放置折点，保证所有道路在交汇点处联通。

执行以下网络分析操作，在实验报告中记录各人实验中要求的分析内容。

1. 利用道路要素类，创建网络数据集

（1）设置连通性规则：线在任意折点处连通，如有交汇点要素，设置其遵从线连通规则。

（2）设置网络属性：表示距离和时间的成本属性（其中距离成本可取道路的长度属性，时间成本可取长度属性除以行人或车辆行驶速度得到的值）。

2. 路径分析

（1）利用路径分析功能自行检测道路的连通性，通过在相邻道路放置停靠点并执行路径分析，确保所有道路均连通。

（2）假设现在要你重新采集责任区内所有路灯的坐标位置，利用路径分析功能重新规划一下你的线路，看看在数据采集过程中你走的路径是否是最佳路径。

① 分析最佳路径和最佳顺序，查看路径成本。

② 由于途中某路段施工，无法通行，设置一障碍点，查看由于障碍点的设置，增加了多少成本。

③ 调整各目的地在地图上的排序，使之反映实际的停靠顺序。

3. 最近设施点分析

当区域内某一建筑发生火灾，分析最近消火栓位置，查看消防员从该消火栓跑到着火建筑的路径和所需的时间。

4. 服务区可达性、位置分配与 OD 成本矩阵

(1) 在区域内设置一个保安岗哨，分析应设在什么位置，才能保证当某一重点保护目标出现突发事件时，保安均能尽快到达该目标。

(2) 创建其从保安岗亭前往各个重点防护目标的 OD 成本矩阵。

5. 车辆配送

假设每天有两名保安巡查责任区内所有点要素(共 N 个)，分配这两名工作人员的最佳巡查线路，使其满足以下要求：

(1) 每天早上八点半出发，每个点检查至少需要 5 分钟；

(2) 每个工作人员最多负责 $N/2+1$ 个巡查点；

(3) 为其中某个目标设置特殊要求，只能指派某一个工作人员进行巡查。

实验五　动态追踪分析技术

一、实验目的

1. 理解定时/实时时态数据、简单/复杂时间事件、追踪 ID、时间窗、触发器等基本概念。

2. 了解 GIS 动态追踪分析技术能够实现哪些功能，思考其在具有时态空间特性的突发事件应急管理中如何应用。

3. 熟悉使用追踪管理器、回放管理器、数字时钟管理器等时态分析工具交互式查看追踪要素信息，展现时态数据发展变化的过程，探索时态数据内在的分布模式。

4. 学会运用追踪分析模块的符号系统选项与动作触发器，绘制含有丰富信息的专题图。

二、实验内容

1. 利用 2012 年西北太平洋区域的台风数据，练习使用 ArcGIS 的 Tracking Analyst 功能追踪时态数据，通过设置时间窗和符号系统，将随时间更改状态的对象绘制成图，并以丰富的形式展现出来。

2. 使用追踪管理器交互式查看时态数据，使用回放管理器查看时态数据的发展变化过程，使用数字时钟管理器分析时态数据的模式和规律。

3. 使用触发器，根据应急管理的需求将满足筛选条件的事件突出显示出来，达到辅助应急决策的目的。

4. 进一步应用该追踪分析技术，演示我国某年的热带气旋数据，分析其对广东省的影响，并绘制专题图。

三、输入输出

1. 输入数据

(1) Typhoon2012 地理数据库与地图工程文件；

(2) 中国省级边界数据，来源：2012 年国家基础地理信息中心。

2. 拓展练习输出数据

(1) 包含底图与追踪图层的地图工程文件；

(2) 包含热带气旋数据表格与要素类的文件地理数据库；

(3) 展示热带气旋追踪过程的动画；

(4) 展示热带气旋统计数据的数据圆环图；

(5) 实验报告。

所有输出文件命名为练习 5_热带气旋 yyyy_制图者姓名，其中 yyyy 表示所用热带气旋数据的年份。

四、预备知识

1. 时态数据

具有经过地理位置的时间与日期信息的数据称为时态数据。将时态数据作为追踪图层加载到 ArcMap 中后，就可以利用追踪分析(Tracking Analyst)模块来分析和显示数据，追踪实时的或者先前记录的观测结果[16]。追踪分析在应急管理领域有着广泛的应用，比如在处理台风突发事件时，要根据气象观测数据，追踪台风轨迹，预测其未来一定时间内的影响范围，记录台风登陆点、对强度大于一定级别的记录点突出显示等；在事后恢复重建过程中，还可能要回放台风路径，比对历史数据，进一步地分析总结规律等，这些都可以通过 ArcGIS 的追踪分析模块来实现。

ArcGIS 追踪分析模块可接受来自 Shapefile 或地理数据库要素类的定时数据源(先前观测值)，也可以接受来自 Esri Tracking Server 或者本地 GPS 接收机的实时数据源。

数据源的数据结构可以分为三种类型：

(1) 简单时间事件

简单时间事件使用一个文件或表格就包含了记录的所有信息，显然该记录中必须包含唯一的 ID 值、时间日期信息、位置信息，以及相关的其他观测信息，比如记录台风中心点位置和风速随时间的变化，如表 5-1 所示。

表 5-1　简单时间示例

ObjectID	日期时间	位置	风速(m/s)
1	2012-02-14 18:00	X1,Y1	16
2	2012-02-15 24:00	X2,Y2	16
3	2012-02-15 06:00	X3,Y3	15

(2) 复杂静止事件

复杂事件需要不同的文件或者表格来包含追踪分析模块用于事件处理和显示所需的所有信息，这些信息可以分为两个组件，称为时间观测组件和对象组件。时间观测组件记录随时间变化的观测值，对象组件记录不随时间变化的属性值。当位置信息不随时间变化时，称为复杂静止事件。比如记录多个气象站的观测值，气象站传感器位置不会随时间改变，因此气象站编号和位置信息作为静态信息存储在对象组件中，而其观测信息作为动态信息存储在时间观测组件中，两个组件通过唯一的 ID 值互相对应。

对象组件表如表 5-2 所示。

表 5-2　复杂静止事件对象组件表

ID	位置	传感器型号
1	X1,Y1	Sensor 100
2	X2,Y2	Sensor 100X

时间观测组件表如表 5-3 和 5-4 所示。

表 5-3　复杂静止事件 1 时间观测组件表

ID	日期时间	状态	观测值
1	2015-10-01 08:00	Active	60
1	2015-10-01 12:00	Active	70
1	2015-10-01 16:00	Active	60

表 5-4　复杂静止事件 2 时间观测组件表

ID	日期时间	状态	观测值
2	2015-10-01 08:00	Active	100
2	2015-10-01 12:00	Active	110
2	2015-10-01 16:00	Inactive	Null

(3) 复杂动态事件

当复杂事件的位置信息随着时间不断改变时，称为复杂动态事件，这种情况下，位置信息存在时间观测组件中，比如物流公司车队的运行信息就属于复杂动态信息。所有车辆的型号、配送物件类型、载荷上限、配送员等信息可以存在对象组件表中，而这些车辆的行驶路径则存在时间观测组件表中。

对象组件表如表 5-5 所示。

表 5-5　复杂动态事件对象组件表

ID	配送类型	配送载荷	配送员
1	食品	8t	张来强
2	服装	12t	王保华

时间观测组件表如表 5-6 和表 5-7 所示。

表 5-6　复杂动态事件 1 时间观测组件表

ID	日期时间	位置	状态
1	2015-10-01 08:00	X1, Y1	正常
1	2015-10-01 12:00	X2, Y2	正常
1	2015-10-01 16:00	X3, Y3	延迟

表 5-7　复杂动态事件 2 时间观测组件表

ID	日期时间	位置	状态
2	2015-10-01 08:00	X4, Y4	正常
2	2015-10-01 12:00	X5, Y5	提前
2	2015-10-01 16:00	X6, Y6	正常

追踪分析模块支持从公元前4713年1月1日至公元9999年12月31日的日期，实时数据支持毫秒级的时间，支持目前使用的所有时区设置。要使用追踪分析模块，日期时间信息必须存储在单独的字段中(如上面几个表所示)。

可以看到不管是哪种数据结构的数据源，一个追踪对象的所有数据都对应于一个唯一的ID值，这个ID值称为追踪ID。在追踪分析模块中，追踪ID不一定是数字序号，只要是具有唯一性的实体属性，比如实体名称、实体编号等，都可以成为追踪ID。

2. 追踪分析模块的符号系统

ArcGIS追踪分析模块可以以追踪图层的形式添加历史时态数据，也可以监听Esri Tracking Server提供的实时数据，或者从本地连接的GPS接收机上获取实时数据。针对追踪图层，该模块提供了大量专用的符号化系统，可以创建时间窗，以不同的颜色、大小和形状显示不同时间段内的数据；可以绘制出追踪对象的路径轨迹，从而反映其发展规律；可以通过显示方向矢量指出其移动方向和目的地；还可以使用最多六个属性标注追踪事件[16]。

时间窗是追踪分析模块特有的工具，利用时间窗可以限制用户可查看的数据的时间范围，并借助时间窗的移动，看到随时间不断变化的数据，从而直观的增强数据并执行有意义的分析。当回放管理器开启的时候，追踪分析模块处于回放模式，地图上显示的当前时间可以是用户自行设置的过去至现在的任意时间点，时间窗可以是过去、未来、过去和未来时间窗，如图5-1所示。当回放管理器关闭时，追踪分析模块处于实时模式，此时未来时间窗没有意义。

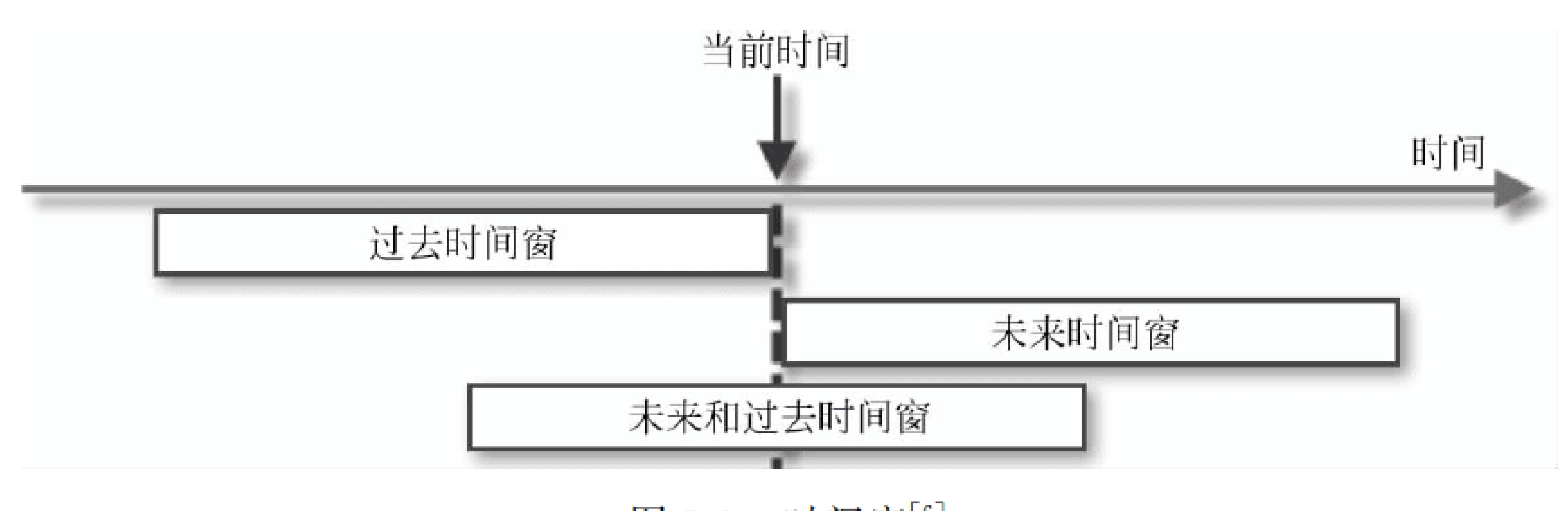


图5-1　时间窗[6]

可以通过配置时间窗以修改在时间窗内显示数据的方式，时间窗设置界面如图5-2所示，可以设置时间窗的长度、单位、绘制方式等，比如图5-2的时间窗口为14天，采用的是过去时间窗，分为7段，选取“颜色”绘制方式，通过不同颜色区分每2天的时态数据，设置后地图上的时态数据显示如图5-3所示。注意点要素可以选择颜色、大小、形状等多种绘制方式，而对于线要素和面要素，绘制方式不能是大小或形状。

除了时间窗之外，追踪图层的符号系统还有其他丰富的功能。图5-2显示的符号选项卡(Symbology)中，“显示(Show)”窗口包含事件(Event)、最新事件(Most Current Event)和轨迹(Tracks)三项。事件项除了时间窗设置之外，还能设置高级渲染功能，也即设置方向箭头和标注事件属性；最新事件项可以设置每个轨迹的最新事件的符号，使之区别于之前的事件，同时也可以设置最新事件的高级渲染；轨迹项可以设置轨迹线的符号样式，也可以设置平滑处理轨迹线等。

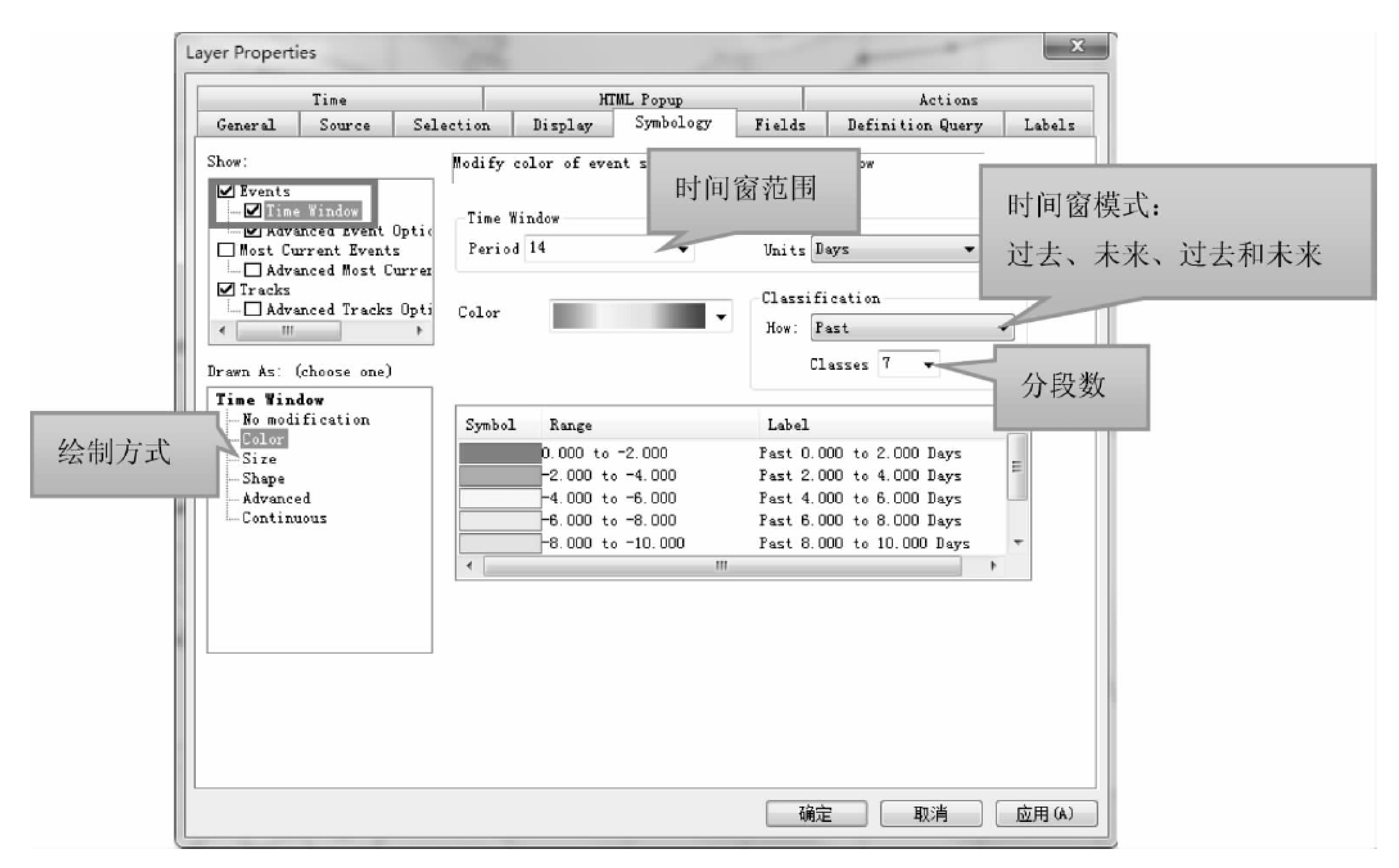


图 5-2　时间窗设置界面

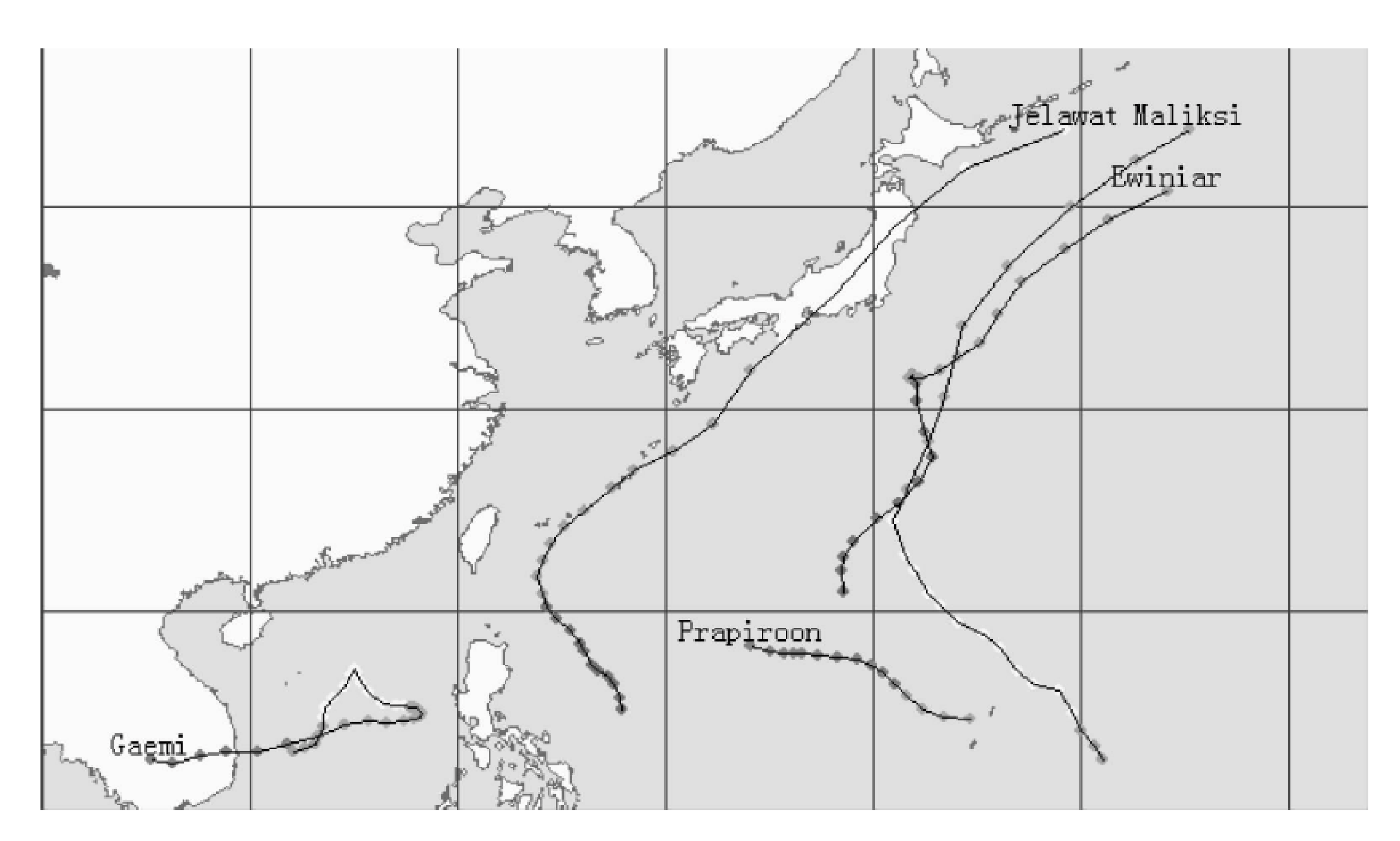


图 5-3　时间窗采用“颜色”绘制方式的显示效果

通过追踪分析工具条上的“追踪分析(Tracking Analyst)|选项(Options)”还可以打开全局设置属性对话框，如图 5-4 所示。四个选项卡分别设置追踪管理器轨迹模式下的符号样式、高级渲染中的方向箭头的样式、高级渲染中的事件标注的样式，以及配置属性触发器的查找表。

3. 追踪分析模块的时态分析工具

追踪分析模块提供了多种时态分析工具，包括追踪管理器、回放管理器、数据圆环图管理器、动画工具、时间偏移工具、步进工具、操作与触发器等[16]。

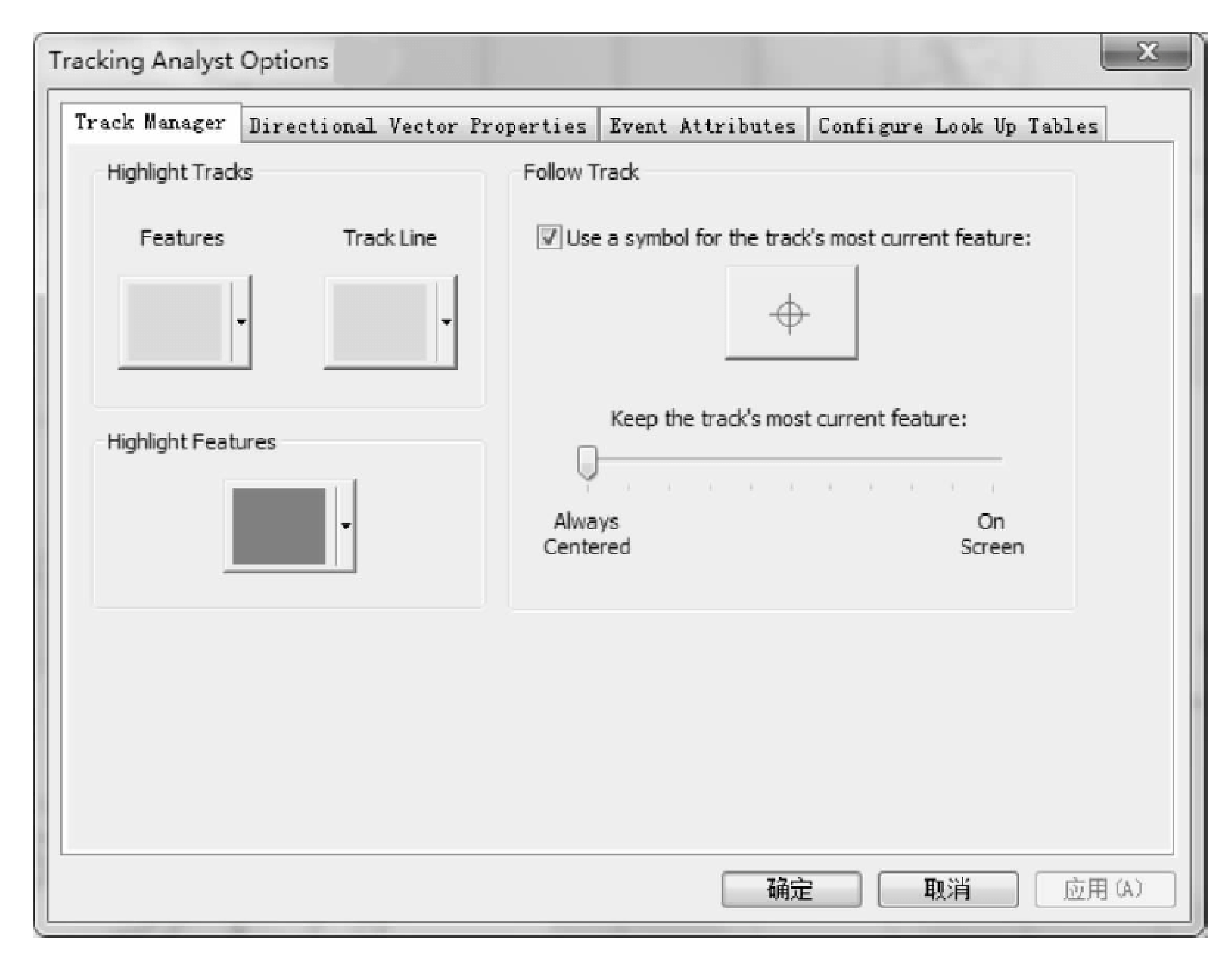


图 5-4　全局设置属性对话框

(1) 追踪管理器

追踪管理器(见图 5-5)可以用来查看追踪图层中包含的轨迹和追踪要素,并与之交互,执行基于轨迹或要素的一些操作。追踪管理器通过追踪分析工具条打开,其界面包含“追踪”和“要素”两个面板,默认状态下只打开追踪面板的一部分,可以通过扩展按钮打开所有面板。

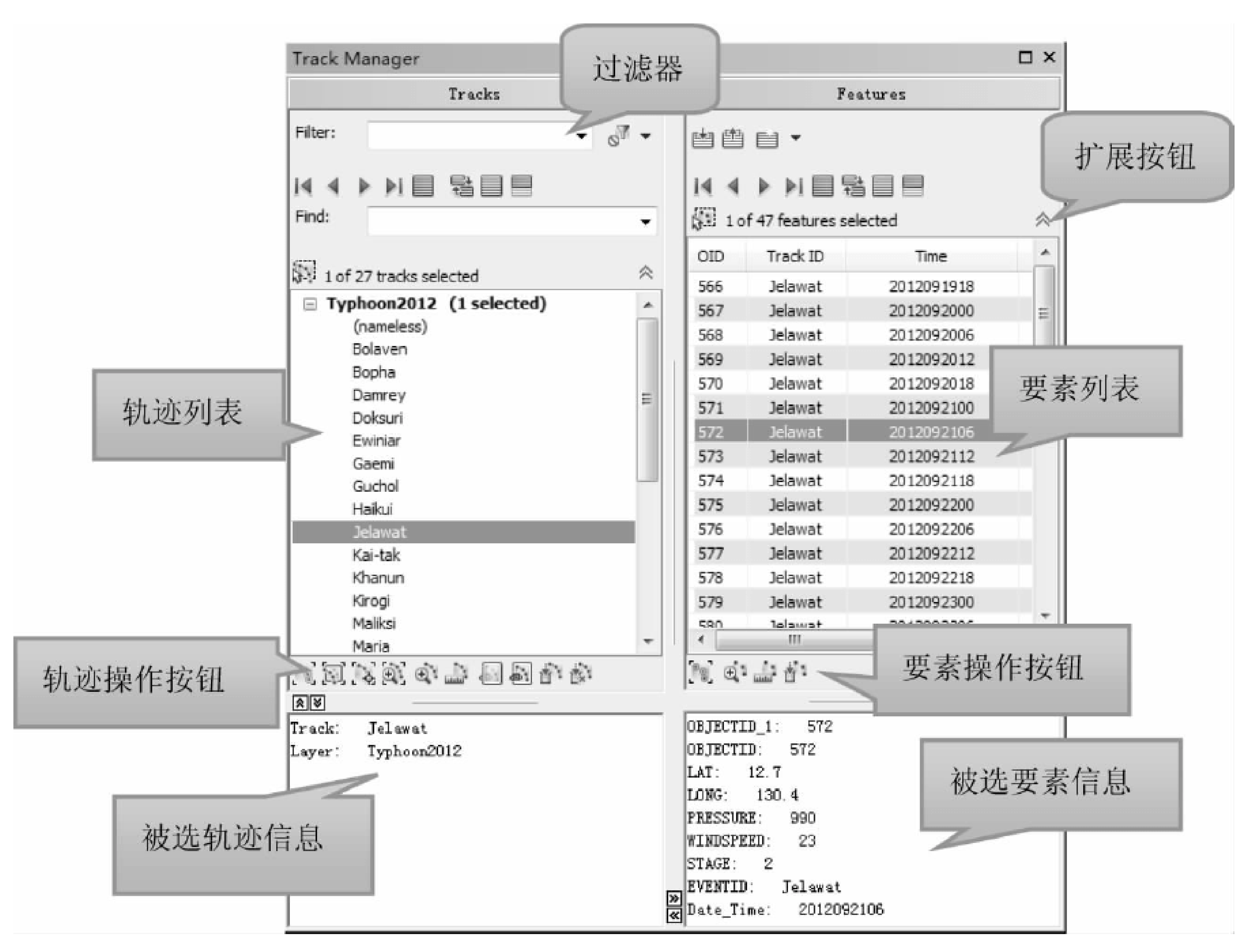


图 5-5　追踪管理器

追踪面板提供了满足过滤条件的轨迹列表及被选中轨迹的基本信息，要素面板提供了被选中轨迹的所有要素列表，以及被选中要素（可以多个）的属性信息或统计信息。

在轨迹和要素列表的中部，追踪管理器提供了多个按钮，可用于对当前选中的轨迹和要素执行操作。这些操作按钮使得追踪管理器能与追踪图层进行交互，辅助用户快速地识别和分析追踪数据。图 5-6 和表 5-8 依次描述了这些操作的功能，其中“追踪模式”和“要素模式”操作是一旦开启便持续作用于被选中轨迹或要素的操作，比如按下“高亮显示轨迹”按钮之后，在轨迹列表中任意点选多条轨迹，被选中的轨迹均能高亮显示，直至该按钮被取消为止。而其他的操作则只会作用一次，比如按下“分析轨迹”操作按钮，只会显示当前被选中轨迹的统计信息，如果用户想了解另一条轨迹的统计信息，则必须重新按下“分析轨迹”操作按钮。由此用户不难理解两个“缩放至轨迹”操作的区别，可在后面练习中实际操作一下，加深理解。

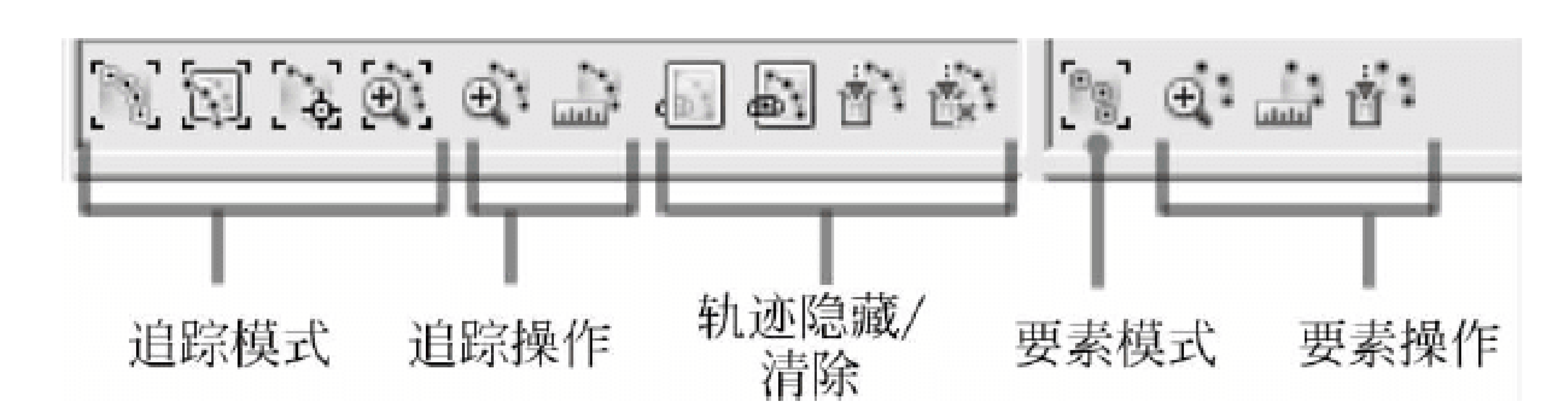


图 5-6　追踪管理器操作按钮

表 5-8　追踪管理器操作按钮及其功能描述

分类	按钮	功能描述
追踪模式	高亮显示轨迹	按下该按钮，被选中的轨迹将在地图上高亮显示
	隐藏其他轨迹	按下该按钮，除被选中的轨迹之外，其他轨迹隐藏
	跟随轨迹	按下该按钮，被选中轨迹的最新要素将显示在地图中心
	缩放至轨迹	按下该按钮，地图将缩放至被选中轨迹的范围
追踪操作	缩放至轨迹	按下该按钮，地图将缩放至被选中轨迹的范围
	分析轨迹	按下该按钮，被选中的轨迹的统计信息将显示在轨迹信息面板
轨迹隐藏/清除	隐藏轨迹	按下该按钮，被选中的轨迹将被隐藏
	显示轨迹	按下该按钮，被选中的轨迹将被显示（前提是该轨迹已被隐藏）
	清除轨迹	仅适用于实时追踪图层，按下该按钮，被选中的轨迹的当前时间之前的所有要素将会被永久删除，谨慎使用该功能
	停止清除轨迹	按下该按钮，停止清除被选中的轨迹
要素模式	高亮显示要素	按下该按钮，被选中的要素将在地图上高亮显示
要素操作	缩放至要素	按下该按钮，地图将缩放至被选中要素的范围
	分析要素	按下该按钮，被选中的多个要素的统计信息将显示在轨迹信息面板，注意单个要素不能使用该功能
	清除要素	按下该按钮，被选中的要素数据将被永久删除，谨慎使用该功能

（2）回放管理器

在追踪分析模块中，时间模式可分为实时模式和回放模式，默认情况下会一直保持实时模式，地图上显示的当前时间等于系统时钟的时间，该模式使得实时追踪图层中接收到

的实时数据源可以立即显示在地图中，而定时追踪图层中，所有日期时间参数先于当前时间的事件都会显示在地图上。

当打开回放管理器时，追踪分析模块就会处于回放模式，回放管理器界面如图 5-7 所示。地图显示的当前时间以及回放窗口的起始、终止时间由回放管理器控制，地图上只显示先于当前时间的追踪事件。即使是实时追踪图层，接收到的实时数据也只能暂存在缓存中，直至这些数据的日期时间参数先于当前时间才会在地图上显示。

在回放模式的累计模式下，随着当前时间的推移，会有越来越多的事件显示在地图上。将回放管理器与追踪分析模块专有的符号系统，比如跟时间窗或最新事件标注结合起来，就能够获得更有实际意义的回放效果。

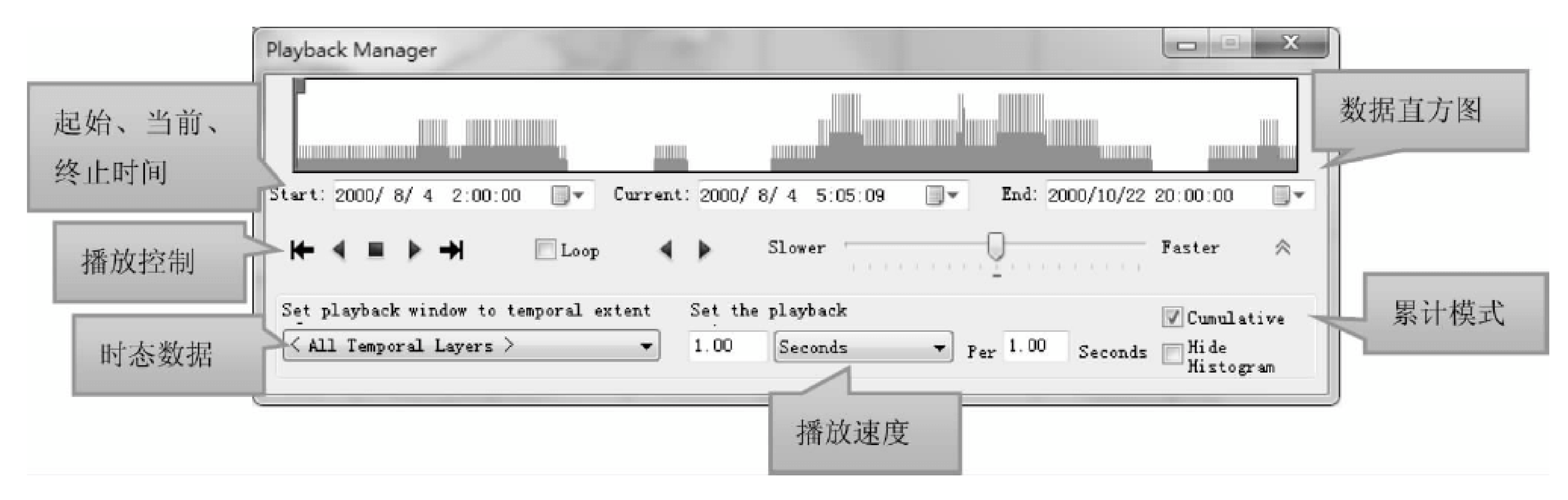


图 5-7　回放管理器

(3) 数据圆环图管理器

数据圆环图是用于探索时态数据内在分布模式的工具，一个典型的数据圆环图如图 5-8 所示，这是一个二维的圆形图表，多个同心圆和多条径线将该图表分成了很多单元格，每个同心圆环代表一个月份，每条径线代表一个日期，整个图表代表了全年西北太平洋区域台风的分布情况。根据这个图表可以很容易地解读出台风集中发生在每年的 8—10 月份。

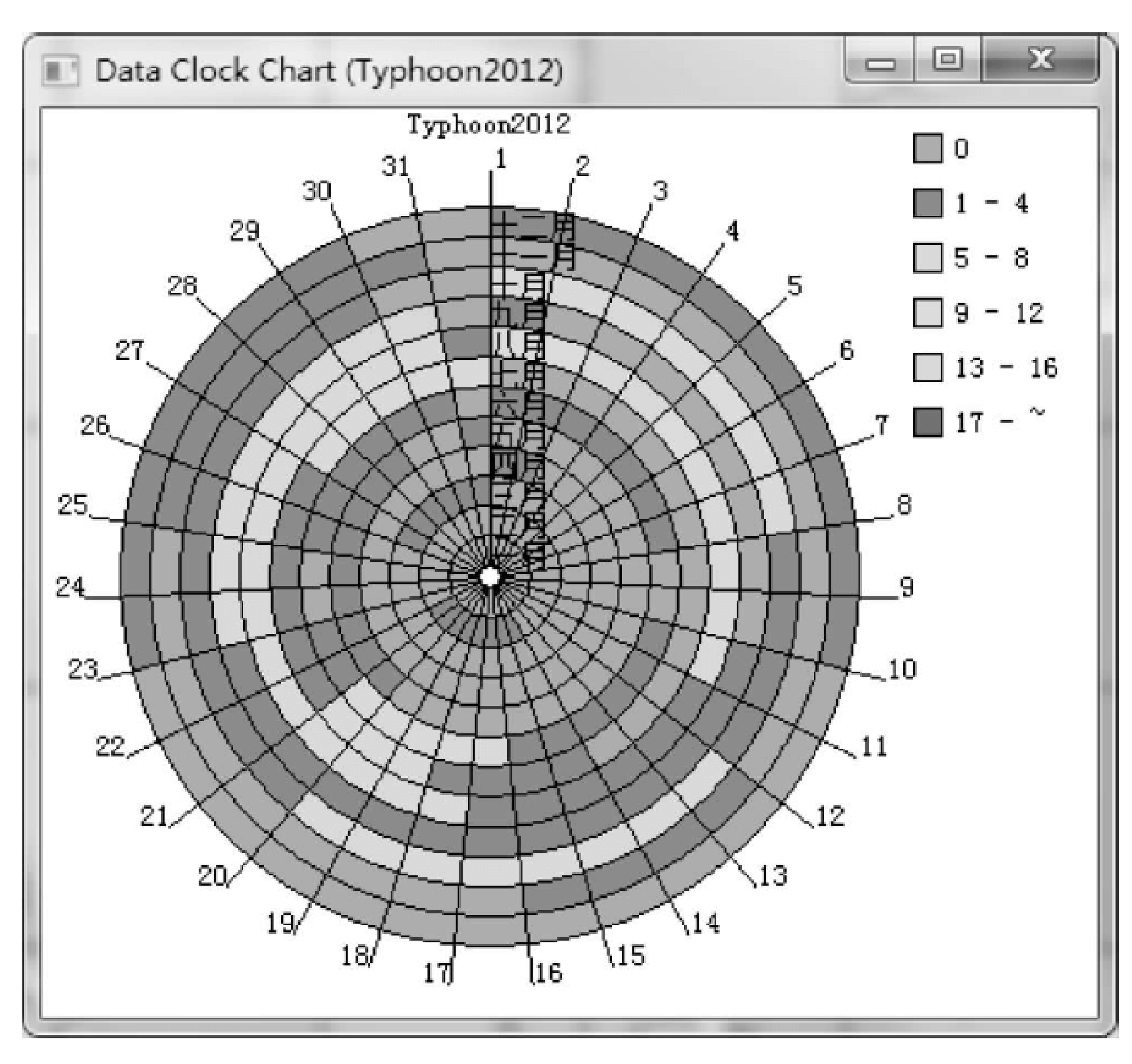


图 5-8　数据圆环图

除了“月-日”的汇总方法之外，数据圆环图管理器还提供了其他多种汇总方法，如图 5-9 所示。用户可根据时态数据的特点尝试使用几种汇总方法，探索其分布规律。

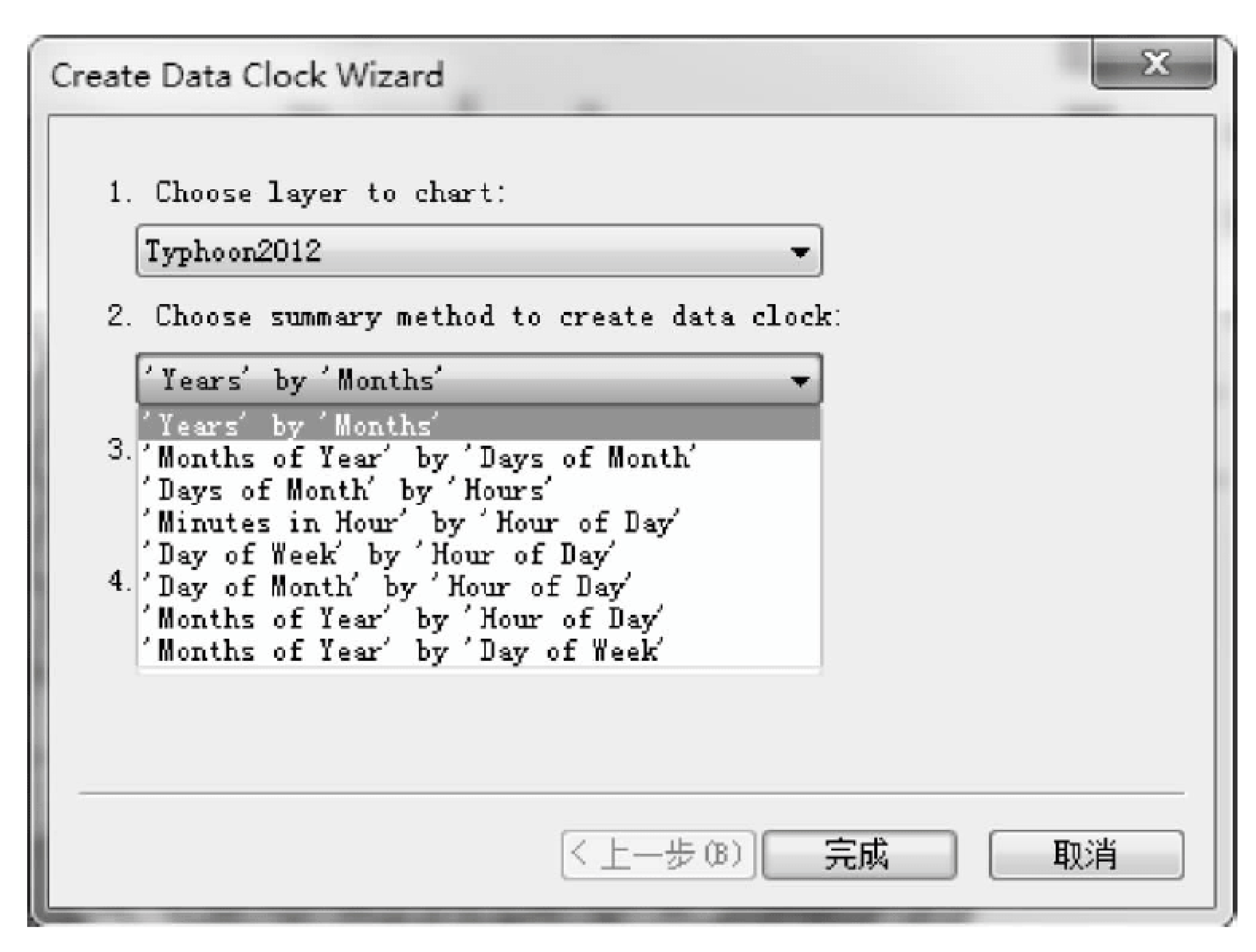


图 5-9　数据圆环图的汇总方法

(4) 动画工具

动画工具用于创建在 ArcMap 中回放的追踪数据动画，从而可以将动画分发给其他人。输出的动画文件格式可以是 avi 视频或者 bmp 位图帧。

(5) 时间偏移工具

时间偏移工具可以将不处在时间窗口范围内的事件“偏移”到时间窗口中显示，该工具并不影响数据源的日期时间属性，只是改变了显示数据的方式，从而可以让用户同时查看不同时间段的数据。比如当时间窗口小于 1 年时，如果想要比较去年和今年同一时间的台风数据，可以将去年的数据应用一年的时间偏移，然后同时回放两个台风数据，比较分析两者之间的发展规律是否相似。

(6) 步进工具

步进工具是与追踪图层进行交互的有力工具，通过步进工具选择追踪图层上的某个事件时，该事件以及其相关的所有事件(同属一个轨迹)均会出现在事件属性对话框中，如图 5-10 所示，每一个事件的详细信息均能够通过该对话框查看，在事件属性对话框中选定的事件也会在地图上高亮显示，方便用户高效地分析追踪对象的位置和属性的变化情况。

除了基本的标识功能之外，步进工具还具有三个特色功能，包括高级渲染、固定活动事件和活动追踪、将要素转为图片等，均可以通过右键打开步进工具的快捷菜单，并勾选相应的操作来实现，如图 5-11 所示。通过步进工具可以直接设置活动事件(被步进工具选中的事件)的高级渲染，也就是显示方向矢量属性和事件标注(最多标注 6 个属性)，注意非活动事件的显示属性不受影响。但是在一些场合，需要无论事件是否处于活动状态，其高级渲染选项始终显示，此时可以利用固定活动事件功能，如果勾选了固定活动追踪，则同一追踪轨迹的所有事件均保持高级渲染选项。将要素转化为图形操作可以将活动事

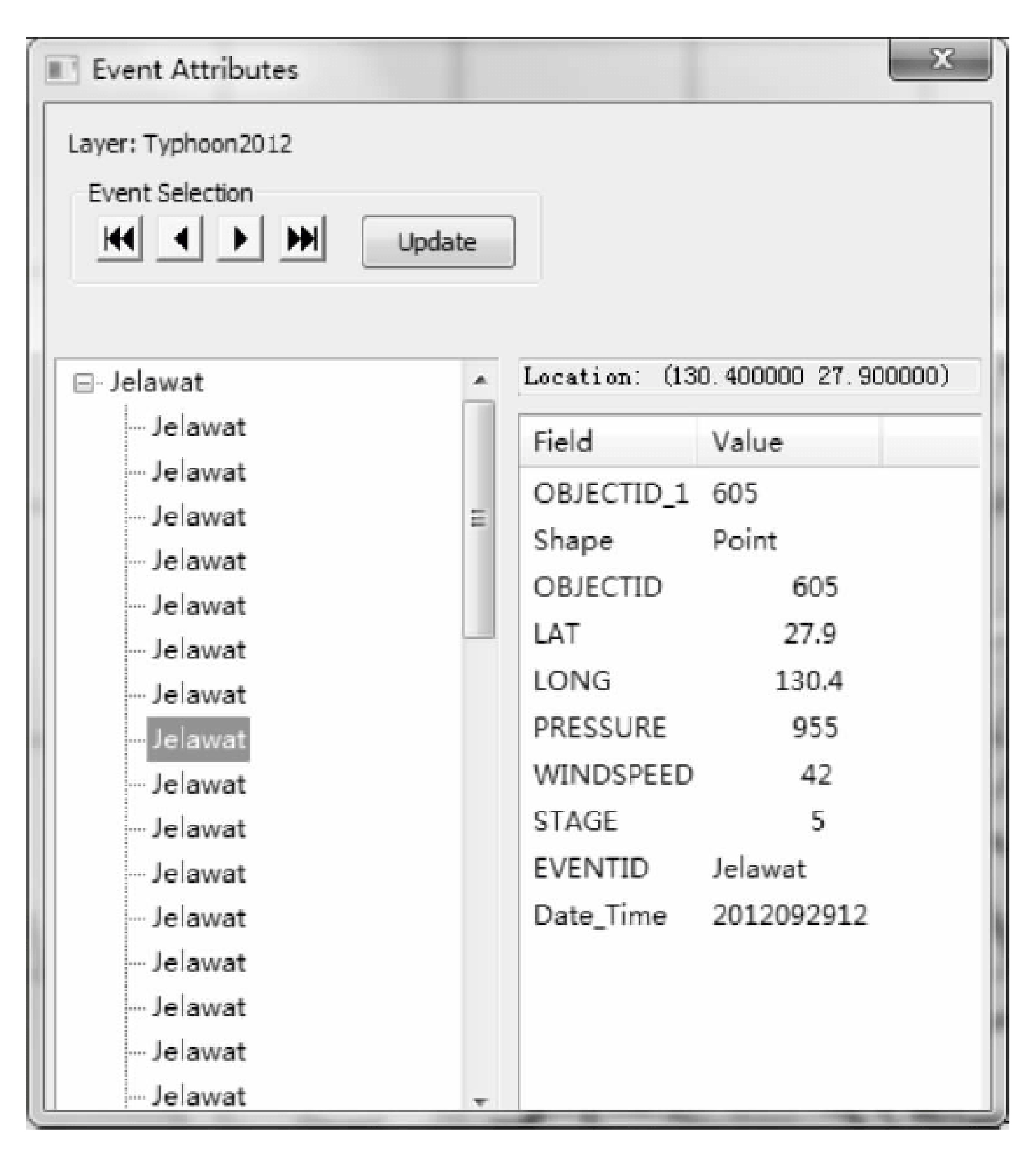


图 5-10 步进工具

件转化为地图上的图形元素，使得该事件不随时间窗的移动或者时间的流逝而变化，这个功能在处理实时数据源时非常有效(因为实时数据源是存在系统内存中的，需要不定时清理才能限制内存消耗量)。

关于步进工具的使用实例，见"五、实验步骤"内容。



图 5-11 步进工具特色功能

(7) 操作与触发器

操作和触发器必须结合在一起使用。操作是用户对追踪数据的自定义处理，而触发器设置了操作执行的条件。如图 5-12 所示，在一个操作参数的设置面板中也融合了触发器的设置。

触发器包括属性触发器和位置触发器，两种触发器可以单独使用，也可以配合使用。构建触发条件的过程与实验练习 3 中设置属性查询和位置查询的过程非常相似，此处不再详述。追踪分析模块提供的图层操作包括三种类型，分别是：高亮显示或禁止显示、滤

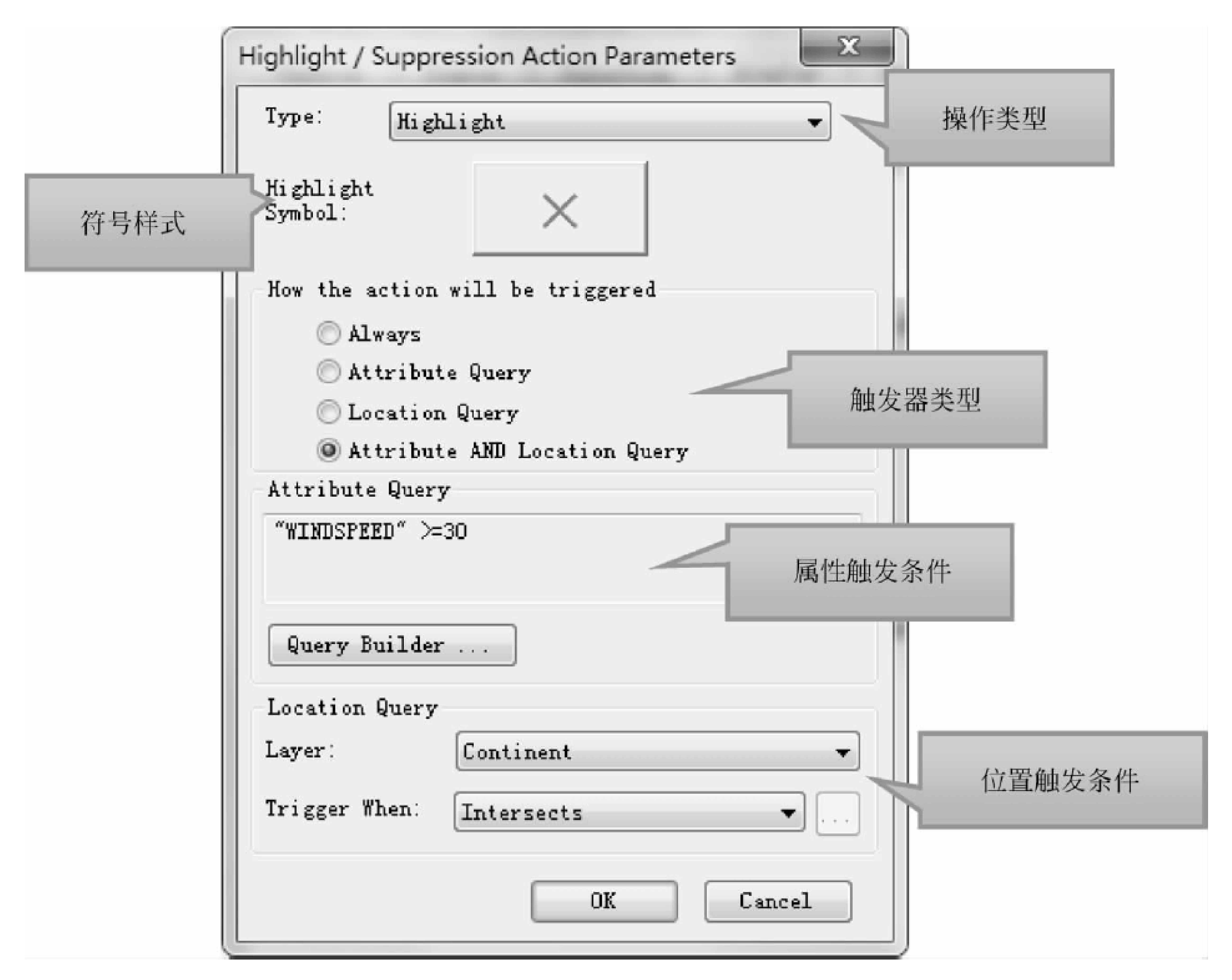


图 5-12 操作与触发器设置

波器，以及自定义 VB 操作，如图 5-13 所示。通过触发器和操作的互相搭配，可以形成较为复杂的数据处理流程，追踪分析模块会顺序地依次执行这些数据处理操作。

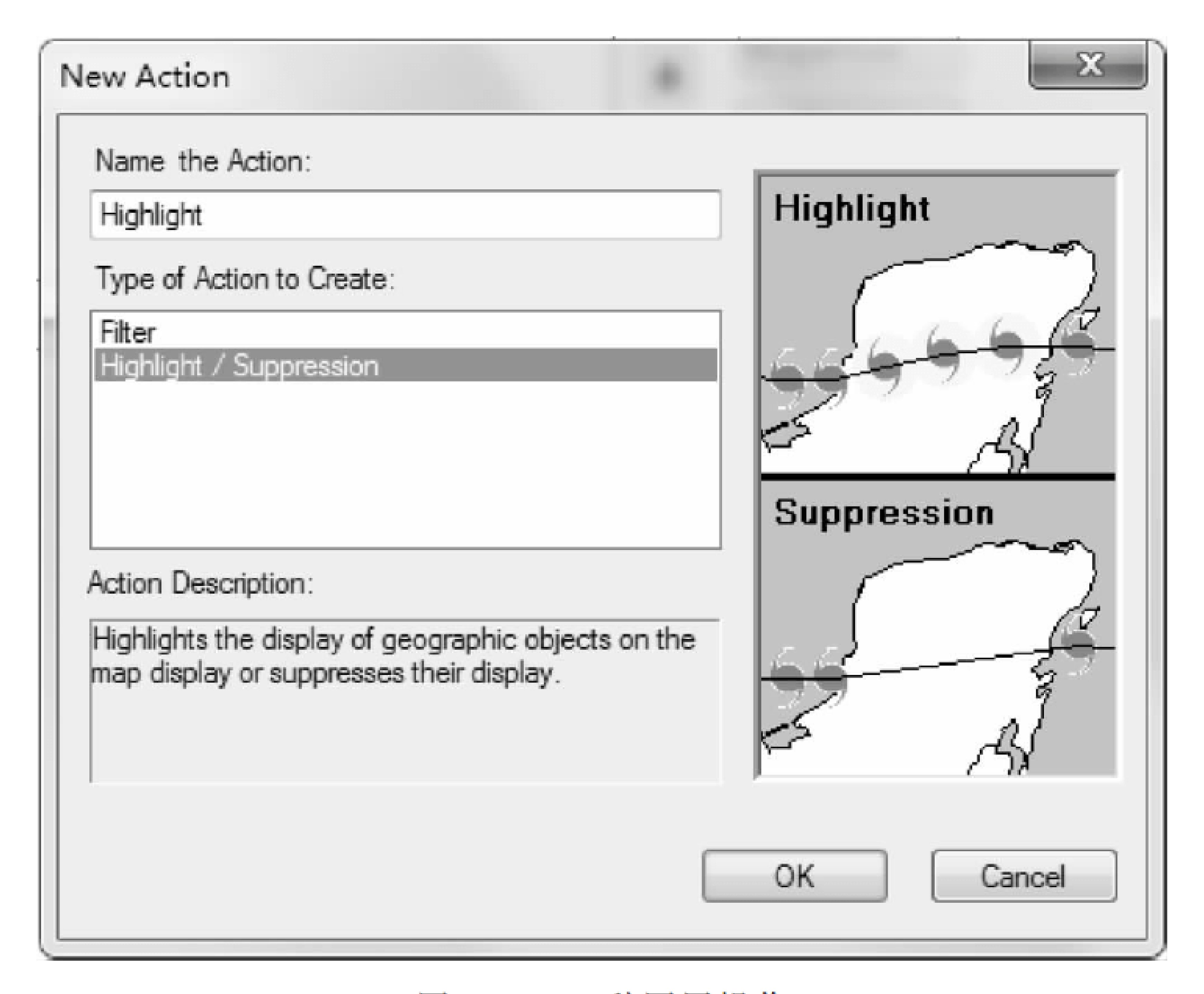


图 5-13 三种图层操作

高亮显示或禁止显示操作会对满足触发器条件的要素的符号系统进行修改，使其视觉效果更加突出，或者完全隐藏，比如将接近陆地边缘3km范围内的台风事件高亮显示。滤波器用于筛选出下一步操作处理的对象，比如将名为“海葵”的台风事件筛选出来，之后的触发器或操作均只针对“海葵”台风事件。不难理解，滤波器不应作为最后一个操作，也即如果对滤波器筛选出来的事件没有后继的操作，那么该过滤操作不起作用。如果用户安装了ArcGIS面向开发人员的VBA资源软件，则可以使用追踪分析模块提供的自定义VB图层操作，不过该操作只能应用于实时追踪图层，在追踪分析历史事件的时候不可用。

五、实验步骤

利用课堂练习数据Typhoon2012，熟悉ArcGIS的追踪分析(Tracking Analyst)模块。

1. 配置追踪分析环境

打开ArcMap，启动追踪分析模块，打开追踪分析工具条。

追踪分析模块也是ArcGIS的扩展模块，要使用该模块的所有功能，必须安装并启用该模块。单击ArcMap菜单栏上的“自定义(Customize)|扩展(Extensions)”，在弹出的对话框中勾选“追踪分析(Tracking Analyst)”，启动追踪分析扩展模块。

单击ArcMap菜单栏上的“自定义(Customize)|工具条(Toolbars)|追踪分析(Tracking Analyst)”，打开追踪分析工具条，如图5-14所示。

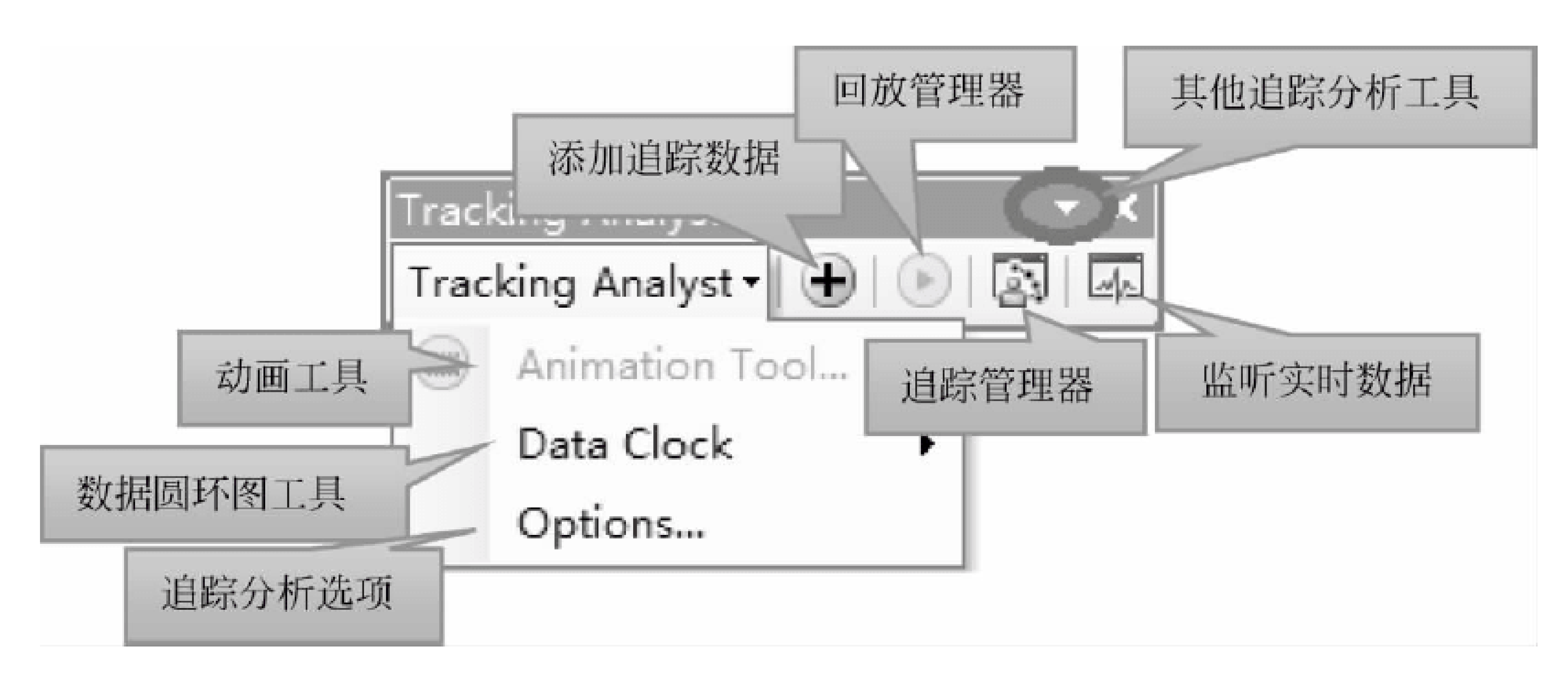


图5-14　追踪分析工具条

2. 在Catalog窗口中连接并展开Exercise 5文件夹

Typhoon2012文件提供了部分世界地图和西北太平洋区域2012年的台风路径数据。在地理数据库中查看点要素类Typhoon2012属性字段，如图5-15所示。要素类Typhoon2012的属性可以分为四类，包括与时间相关的Data_Time；与空间位置相关的LAT(纬度)、LONG(经度)；与观测值相关的PRESSURE、WINDSPEED、STAGE；以及事件唯一标识EVENTID。所有的数据都存储在该要素类的属性表中，因此可以判断这是一个简单时间事件。

3. 添加追踪数据

在ArcMap中打开mxd文件，利用追踪分析工具条上的添加数据按钮，添加要素类Typhoon2012，添加追踪数据的对话框如图5-16所示。

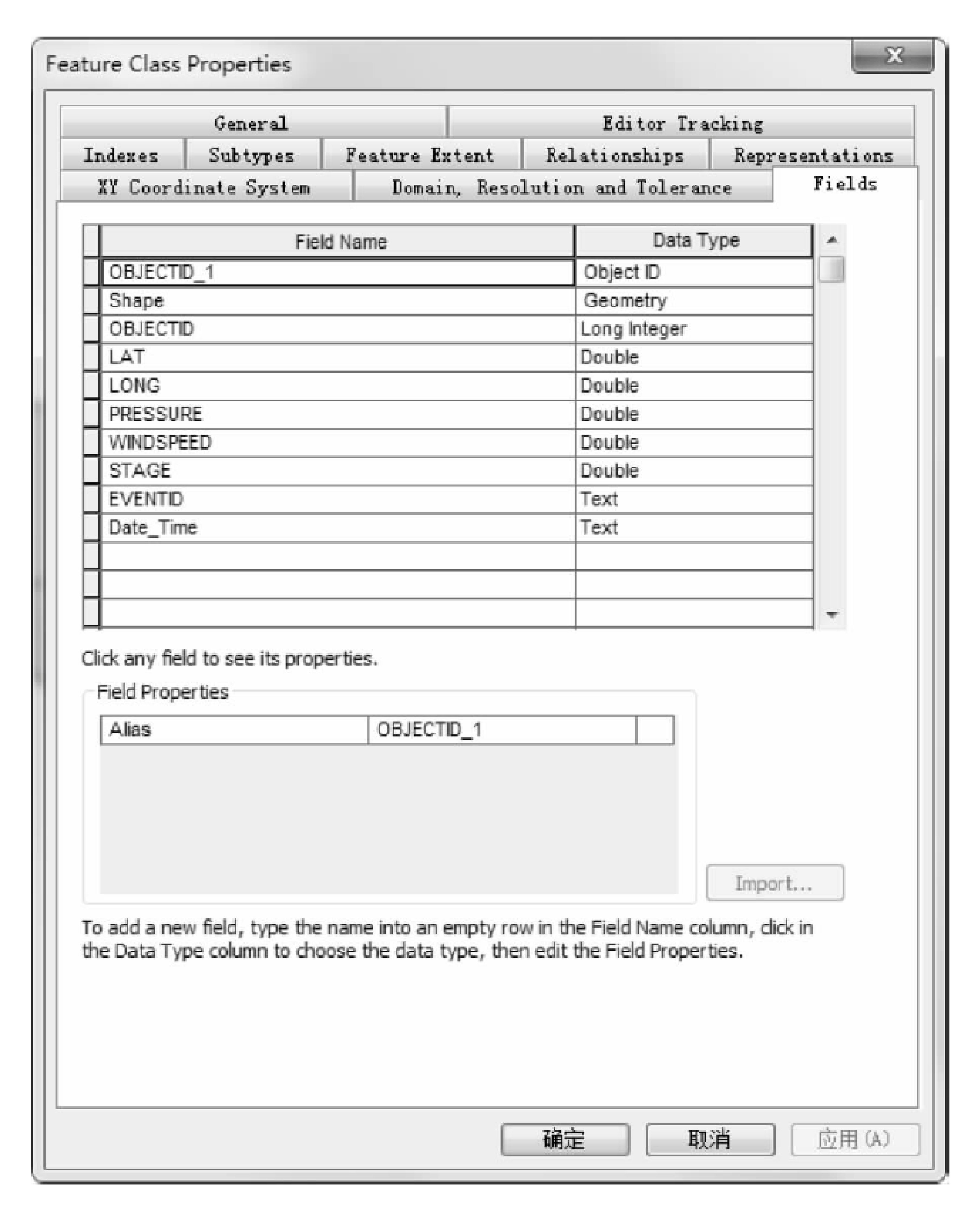


图 5-15　台风路径数据的属性字段



图 5-16　添加追踪数据对话框

Typhoon2012 数据量很小，因此存储策略中选择“复制数据到内存(Copy all data to memory)”能够加快分析处理的速度。该事件是一个简单时间事件，因此选择将“包含时态数据的单独的要素类或 shapefile 文件(A feature class or shapefile containing temporal data.)”添加到地图中。

接下来要根据时态数据的实际情况选择时区和日期时间属性设置，Typhoon2012 中包含的台风事件选用的是格林威治时区，并且没有按照夏时制调整，其属性表中的 Data_Time 属性包含了完整的日期与时间信息，因此在“包含日期/时间的字段(Filed containing the data/time)”项中选定“Data_Time”。

设定 EventID 作为追踪 ID，单击“下一步”。由于 Date_Time 字段是文本格式，需要转换为日期时间格式，如图 5-17 所示，为其选择合适的时间格式，单击“下一步”。然后根据需要设置过滤器，可以通过查询构建器(Query Builder)设置过滤条件，使得追踪图层只显示 Typhoon2012 要素类中的一部分记录。如要显示 Typhoon2012 中的所有记录，则直接单击“完成”。设置完成后可以看到地图上出现表示一系列台风轨迹的点，如图 5-18 所示。

Add Temporal Data Wizard
The date/time field you chose requires interpretation. Specify the format of the data in the field so that it can be read correctly.
Custom Formats
Locale
中文(简体，中国)(中华人民共和国)
AM: 上午
PM: 下午
Date: yyyy/M/d
Time: H:mm:ss
Time field sample: 2012021418
Time field format: yyyyMMddHH
< 上一步(B)　下一步(N) >　取消

图 5-17　指定时间格式

本实验提示 1：当需要根据大型的数据集创建追踪图层时，存储策略选择“引用磁盘上的数据(没有另外的副本)”。

本实验提示 2：在“包含日期/时间的字段”项的下拉列表中，列出了数据源所有的文本、时间、数值类型的字段，如果日期时间信息存储在文本或数值类型的字段中，单击“下一步”后会出现日期转换对话框，此时需要用户指定正确的日期时间格式，便于系统识别输入字段，如果日期时间信息存储在时间类型的字段中，则该对话框不会出现。

本实验提示 3：添加 Typhoon2012 图层时，只有通过追踪分析工具条上的添加数据

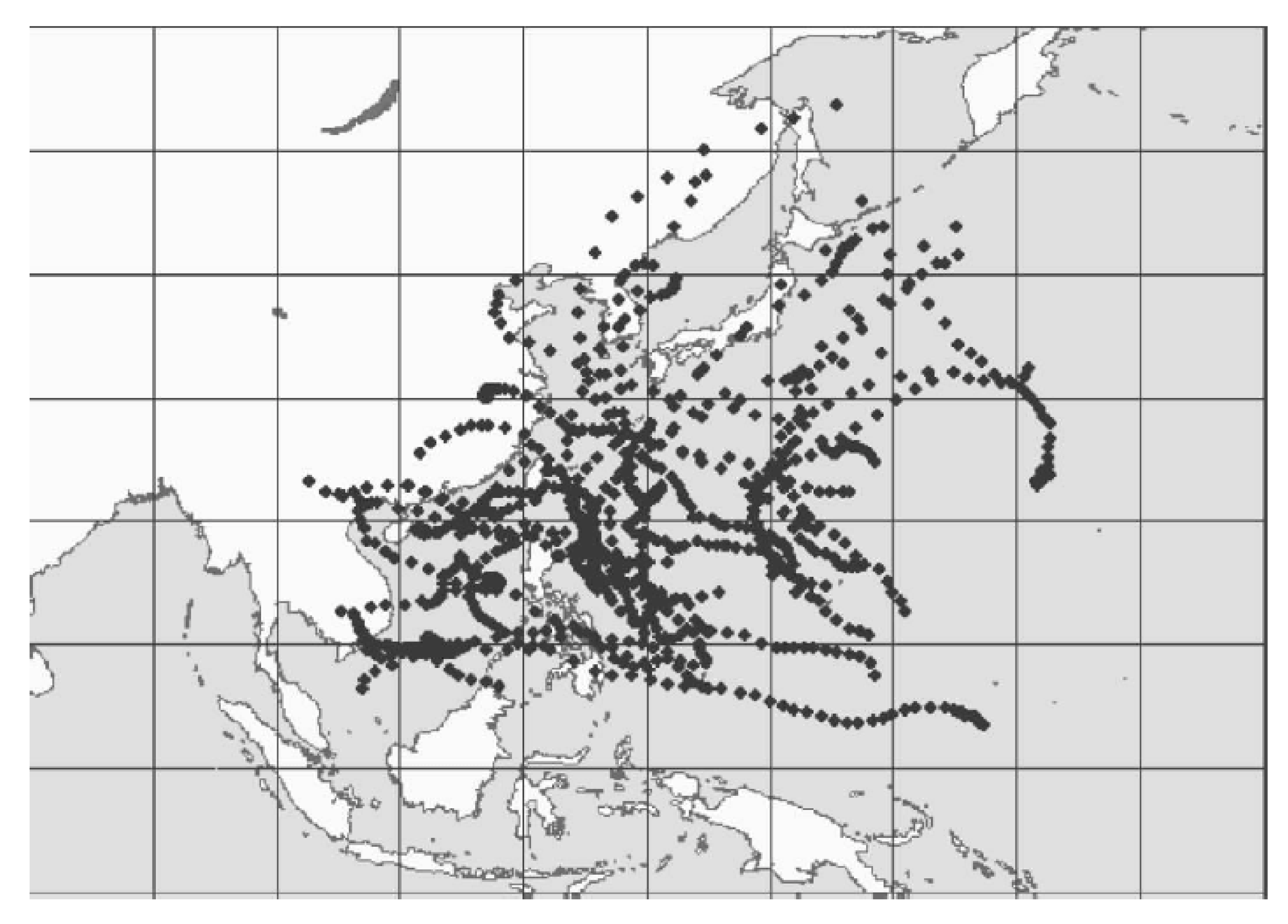


图 5-18　台风轨迹点

按钮添加的图层才是追踪图层，而通过其他方式，比如直接从 Catalog 窗口中拖曳到地图上形成的图层都是普通图层。只有追踪图层才能应用追踪分析模块提供的各种功能。

4. 画出轨迹线

打开追踪图层图层属性的符号选项卡，勾选“轨迹线(Track)”，如图 5-19 所示。

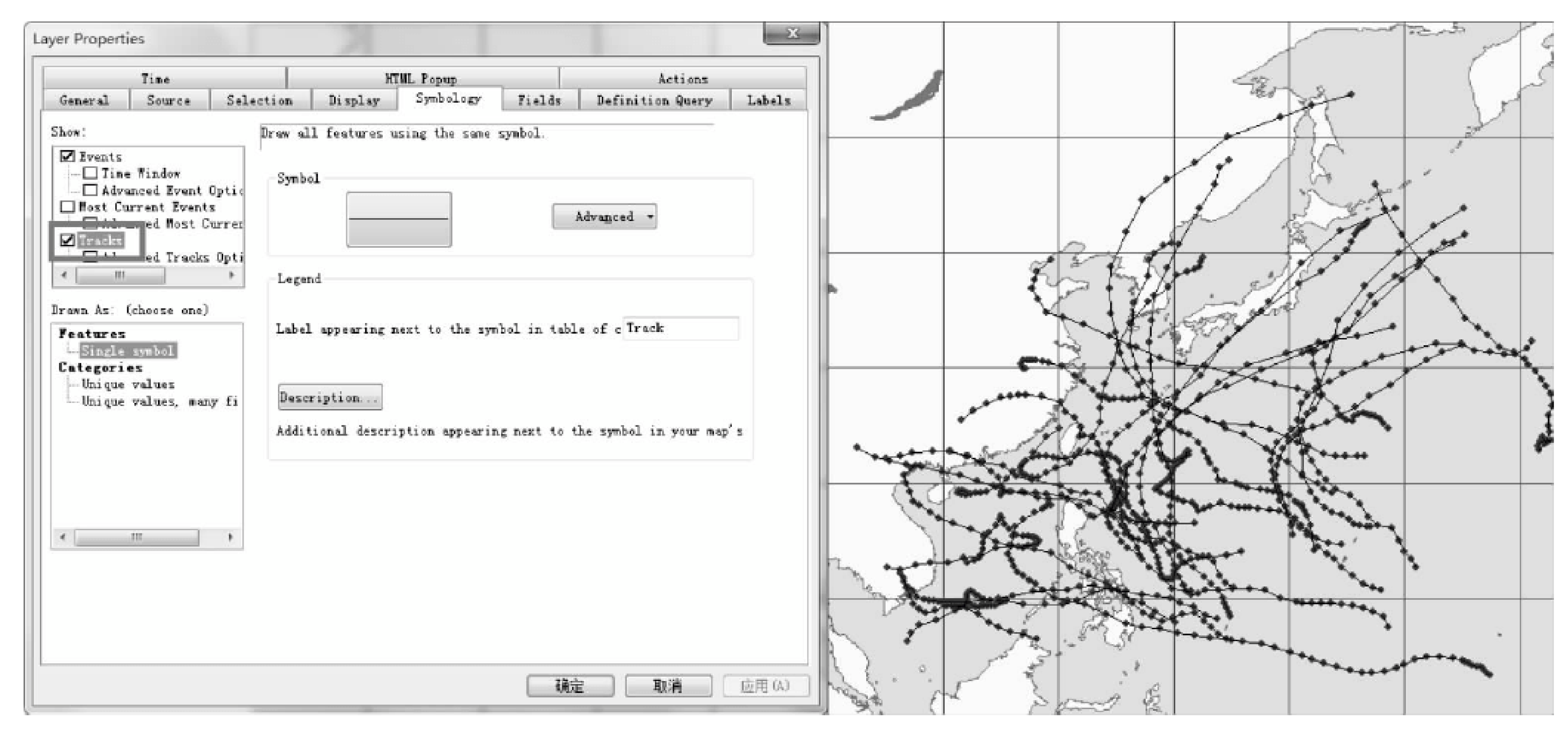


图 5-19　画出轨迹线

5. 使用追踪管理器

打开追踪管理器，展开轨迹面板、要素面板、信息面板，查看各个台风的详细数据，练习高亮显示、缩放至轨迹、隐藏轨迹、分析等操作。追踪管理器界面及操作说明在预备知识中已详述。

6. 使用步进工具查看事件属性

在默认的追踪分析工具条上并没有显示步进工具。单击图 5-20 中灰色圈所示的三角按钮，打开用户自定义对话框，在“命令(Command)”选项卡中找到“追踪分析(Tracking Analyst)”目录的“步进工具(Step Tool)”，将其拖曳至追踪分析工具条上(见图 5-21，图 5-22)。

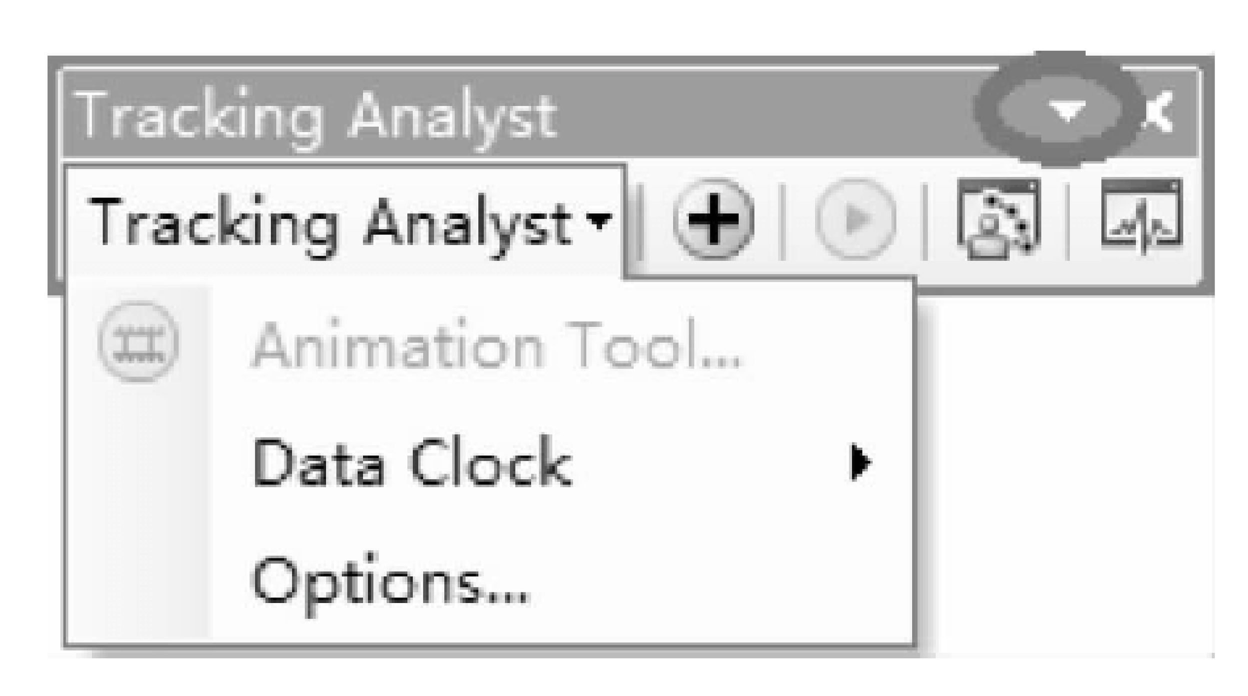


图 5-20　打开用户自定义对话框

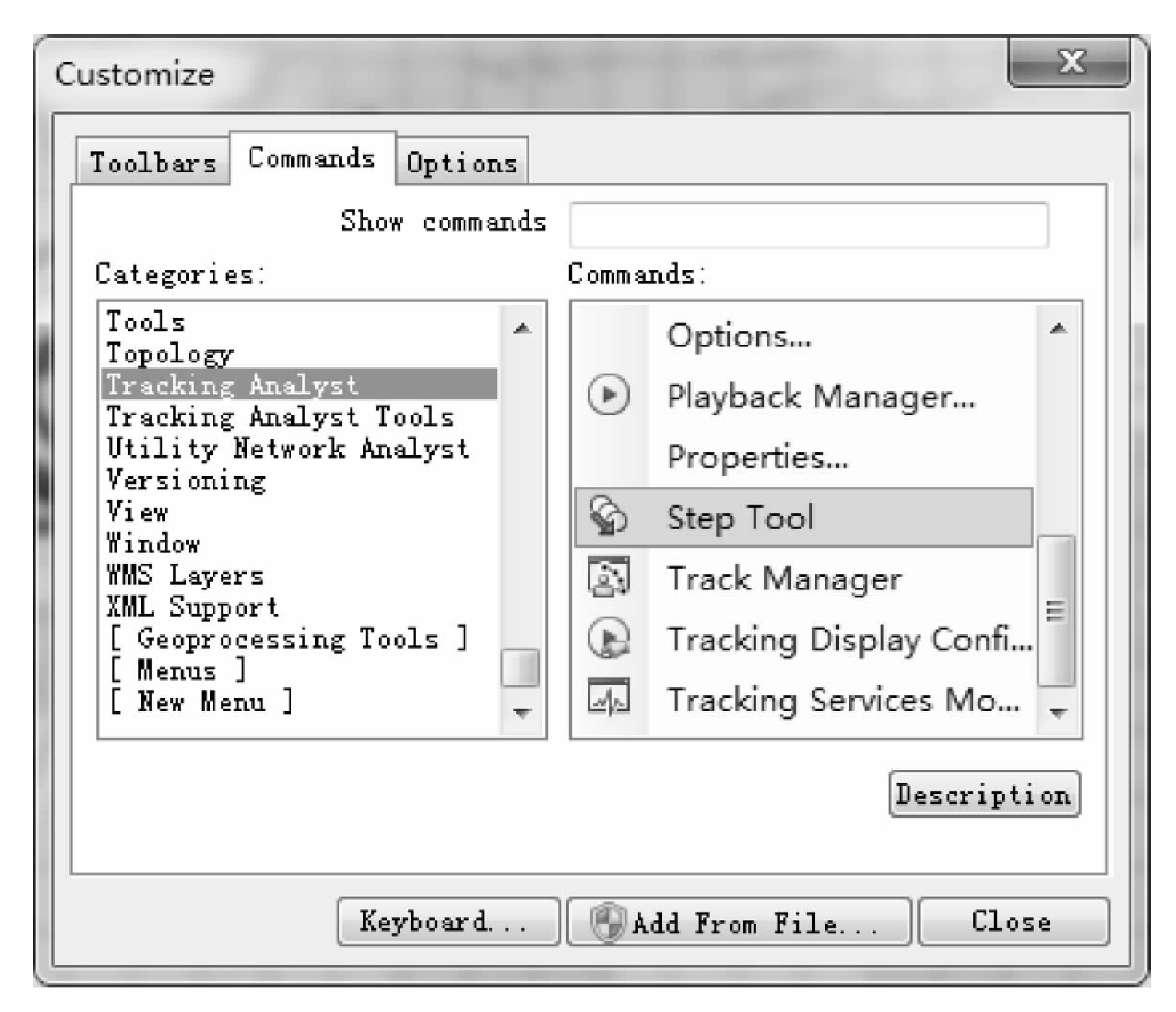


图 5-21　在用户自定义对话框中找到步进工具



图 5-22　添加了步进工具的追踪分析工具条

打开步进工具，将鼠标放在地图上时，鼠标旁边将出现带感叹号的黄色圆点，表明步进工具已打开，利用鼠标单击追踪图层上的事件，事件属性(Event Attributes)对话框将被打开，同一事件在事件属性对话框中也被选中，其属性将显示在右侧的窗口中。利用事件属性对话框中的箭头按钮可以依次浏览事件或轨迹，在事件属性对话框中被选中的事件，在地图上也会被同步选中。

此处可以比较一下步进工具的标识功能和追踪管理器。在查询事件属性上，两者提供了非常类似的功能，主要区别在于：

（1）映射方向

追踪管理器只能通过“高亮显示要素”模式，使用户直观得将正在查询的要素与其他要素区别开来，同时用户在地图上选中的要素在追踪管理器中不会被同步选中，也就是说，地图与追踪管理器的映射关系是单向的。而使用步进工具时，用户在地图上选中的要素会在事件属性对话框中被同步选中，反过来在事件属性对话框中选中的要素在地图上也会被同步选中，也就是说，地图与步进工具之间的映射关系是双向的。

（2）统计分析

追踪管理器允许用户将多个事件/要素的属性进行统计分析，而步进工具只能显示单个事件/要素的属性。

（3）操作对象

追踪管理器的对象可以是轨迹，也可以是轨迹中的事件/要素，步进工具只能针对单个事件/要素（见图 5-23）。

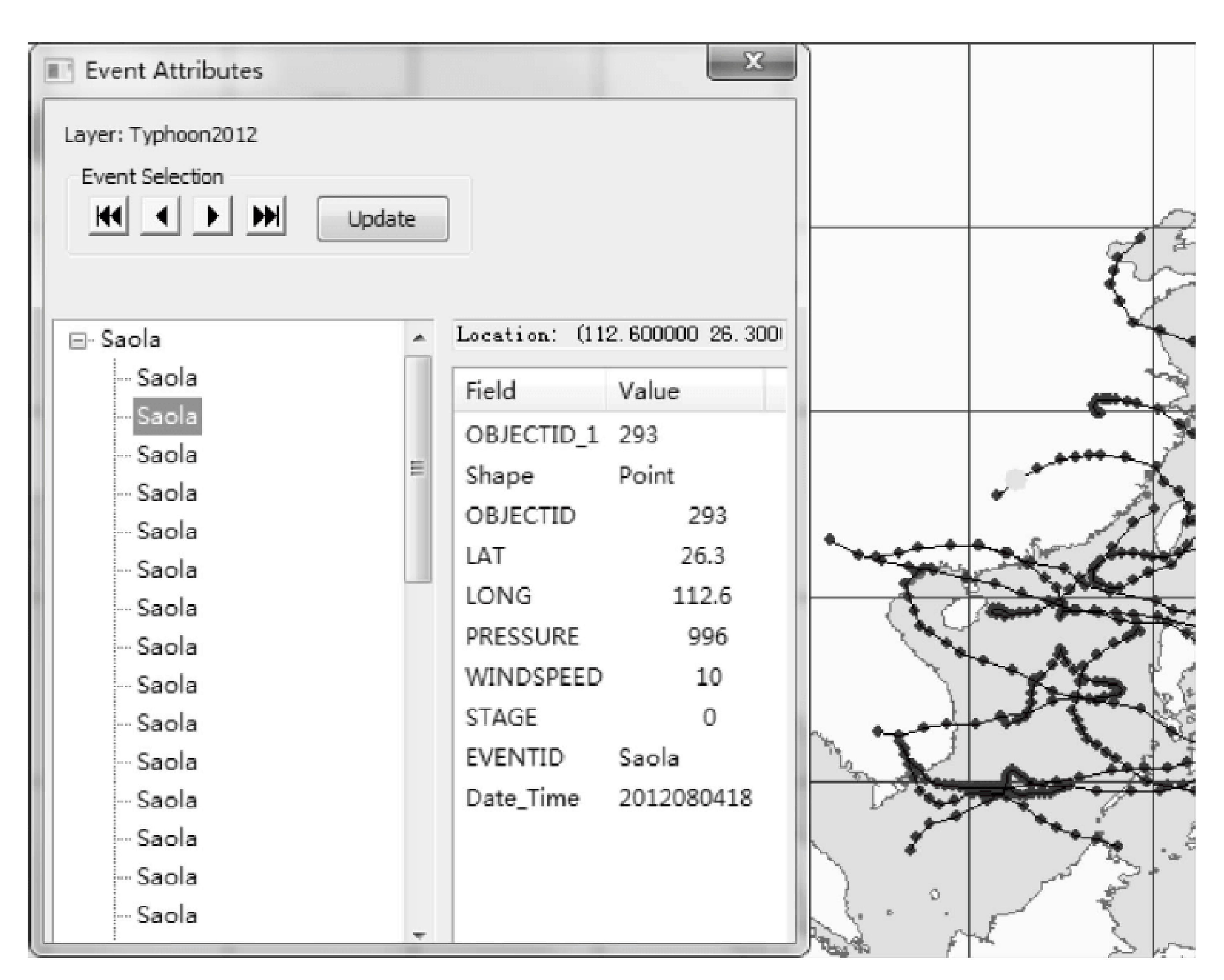


图 5-23　步进工具只能操作单个事件/要素

设置追踪图层的符号系统选项卡，勾选“方向箭头（Directional Vector）”和“事件属性（Event Attritubes）”，并打开其属性设置对话框。如图 5-24 所示，在“方向箭头渲染属性（Directional Vector Renderer Properties）”对话框中，设置时间间隔为 6 小时（用户可自行查看 Typhoon2012 图层的属性表，可以看到事件记录间隔为 6 小时，此处的时间间隔与事件记录间隔不能差别很大，否则方向箭头会太大或者太小），根据需要设置箭头的颜色、粗细等样式，如图 5-25 所示；在“事件属性渲染属性（Event Attritubes Renderer Properties）”对话框中设置要显示的属性字段及其样式，最多可以显示六个属性字段，如图 5-26 所示。

注意在图 5-24 对话框中不要勾选“高级事件选项（Advanced Event Option）”中的“渲染所有要素（Render All Features）”，否则步进工具的高级渲染功能无法直观展示。

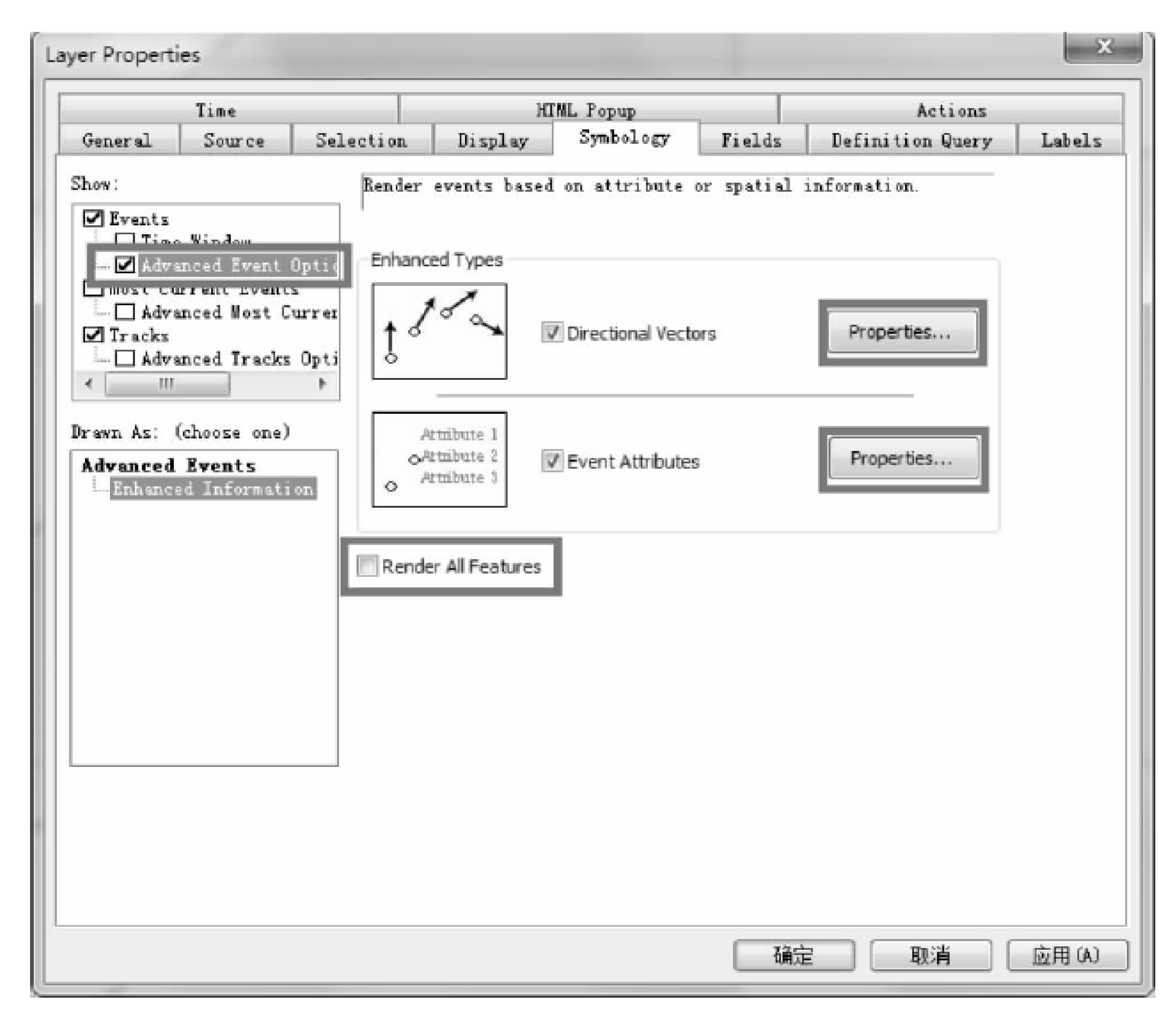


图 5-24　追踪图层符号系统

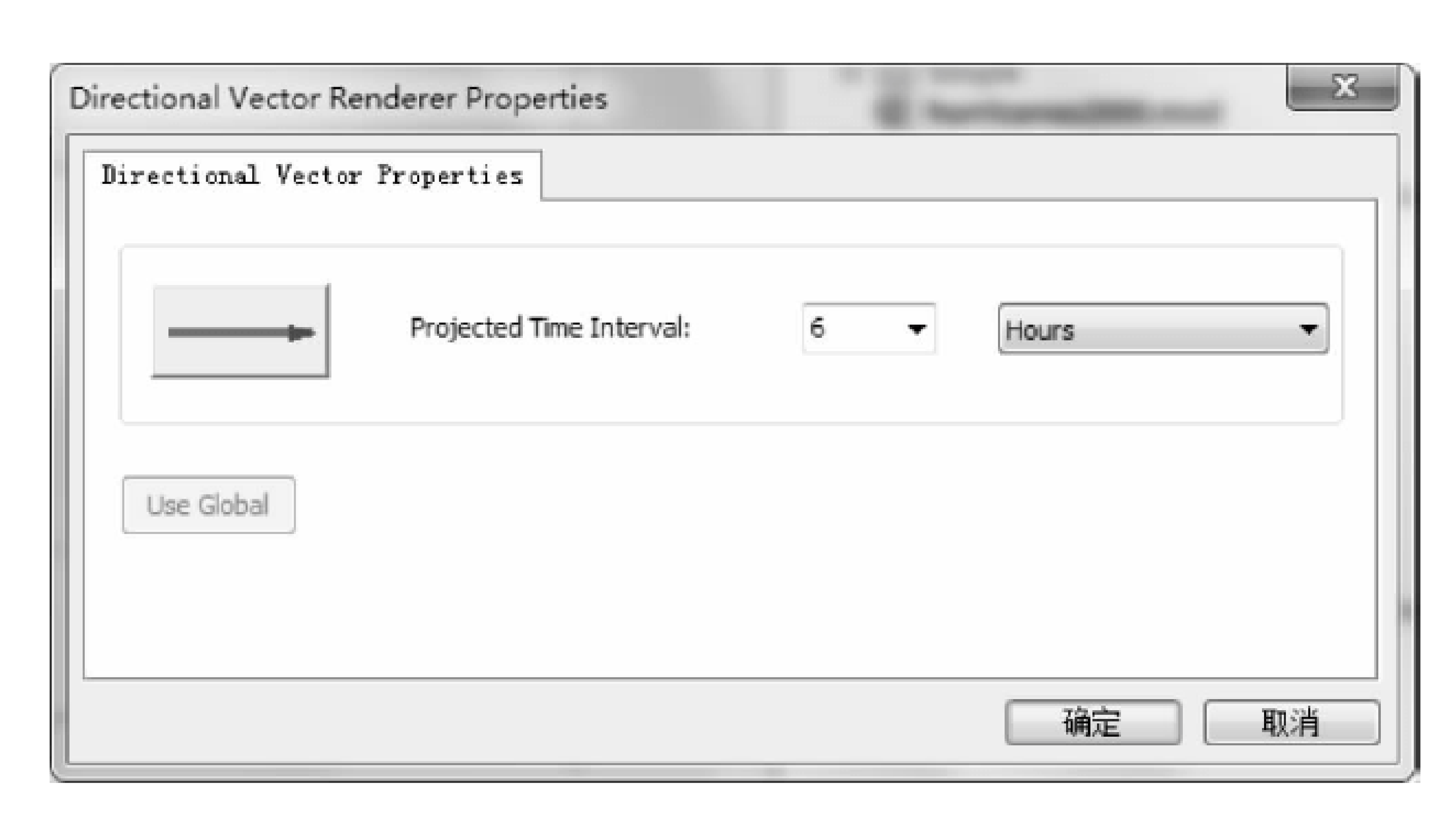


图 5-25　方向箭头渲染设置对话框

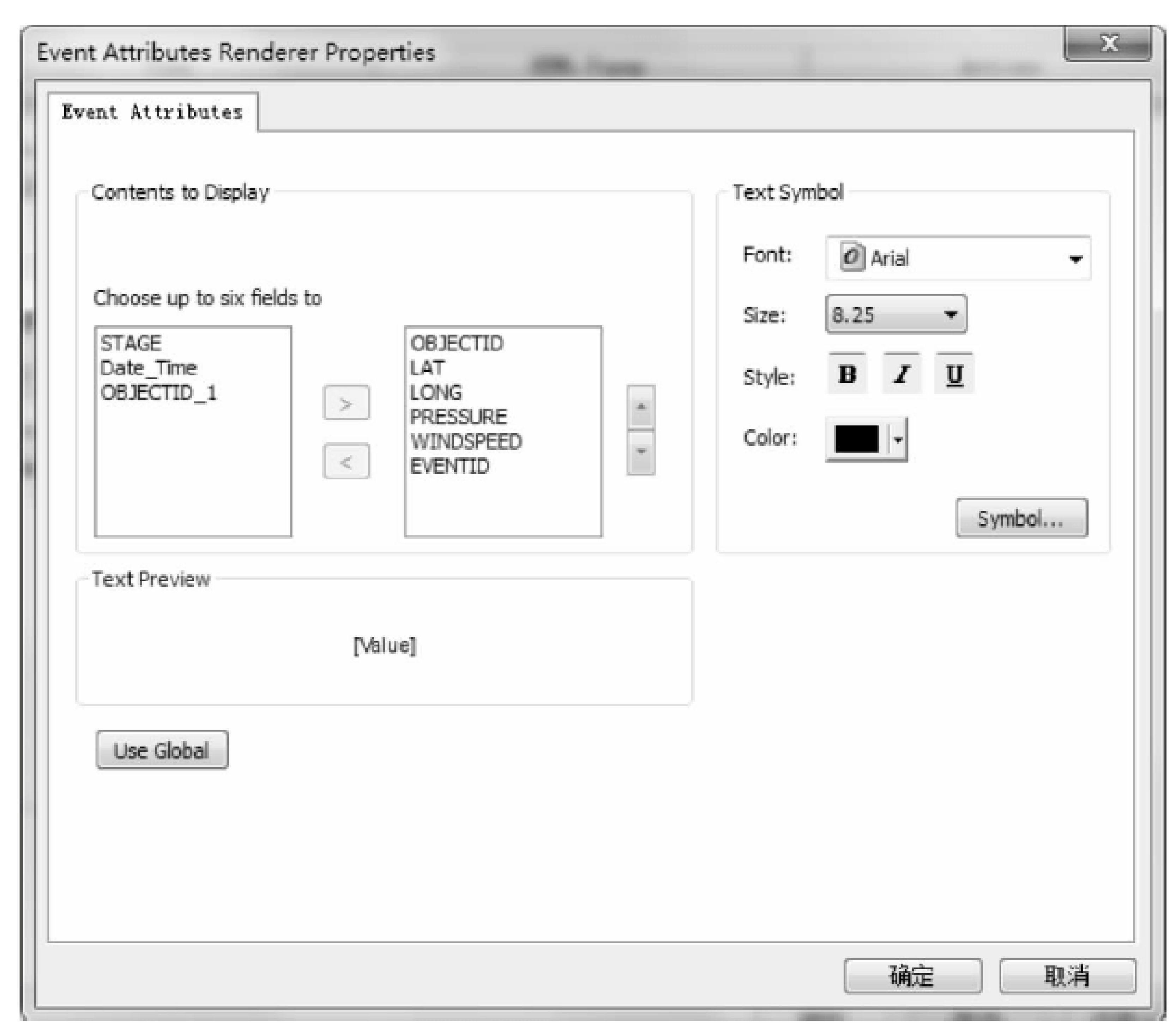


图 5-26　事件属性渲染设置对话框

上述设置完成后，打开步进工具，右键打开其的快捷菜单，勾选“显示高级渲染(Display Advanced Rendering)”、“显示方向箭头(Display Directional Vector)”、“显示事件属性(Display Event Attributes)”，在地图上点选某一事件，该事件的属性及方向矢量将会出现在地图上，如图 5-27 所示。

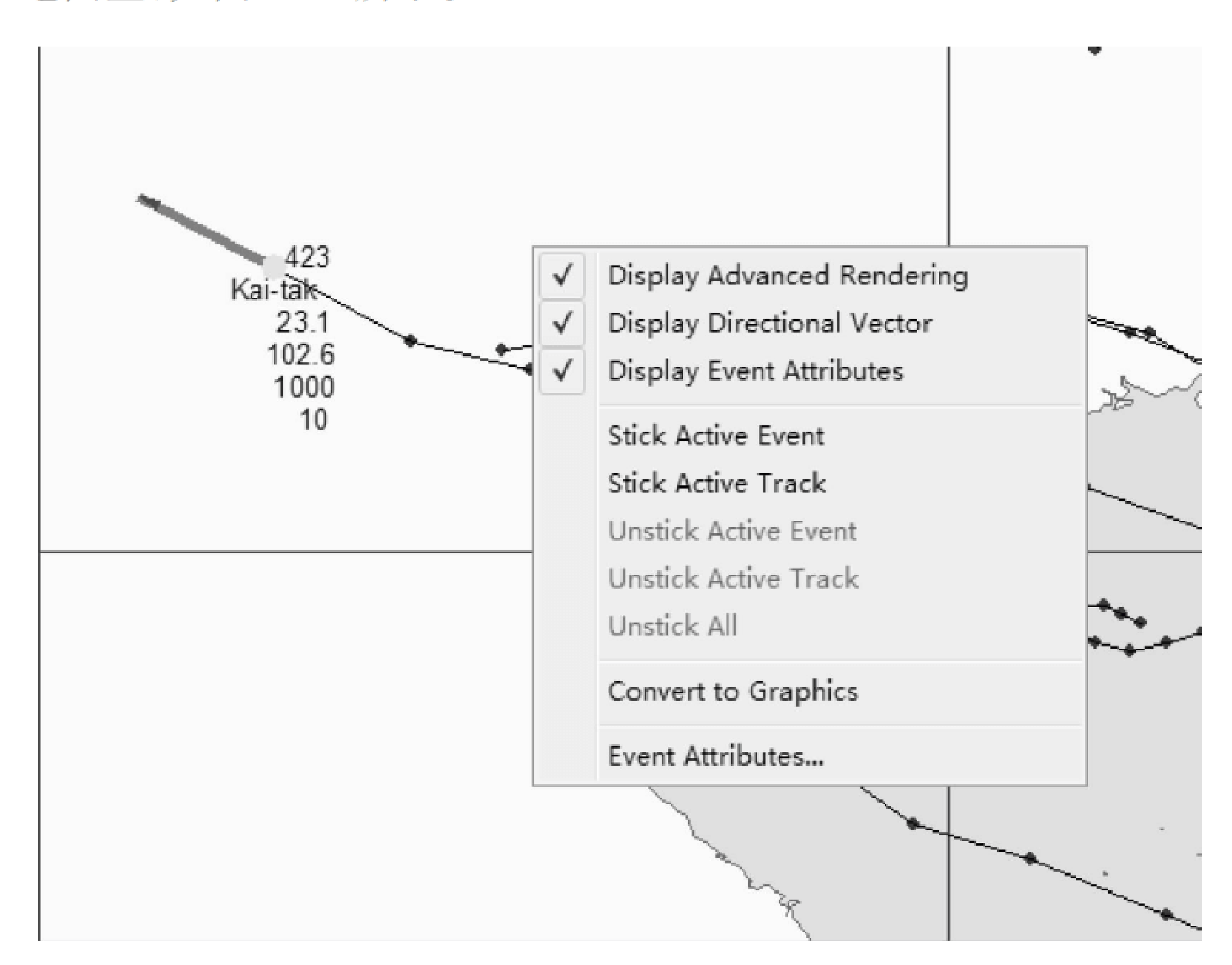


图 5-27　利用步进工具渲染方向箭头和事件属性

尝试着点选其他事件，可以看到只有当前被步进工具选中的事件，其高级渲染才会出现。如果希望某个事件的高级渲染一直保持，则选中该事件后，右键单击“固定活动事件(Stick Active Event)”，如果希望被选事件所在的整条轨迹都显示方向矢量和事件属性，则选中轨迹上任意事件后，右键单击“固定活动轨迹(Stick Active Track)”。其效果如图 5-28 所示。

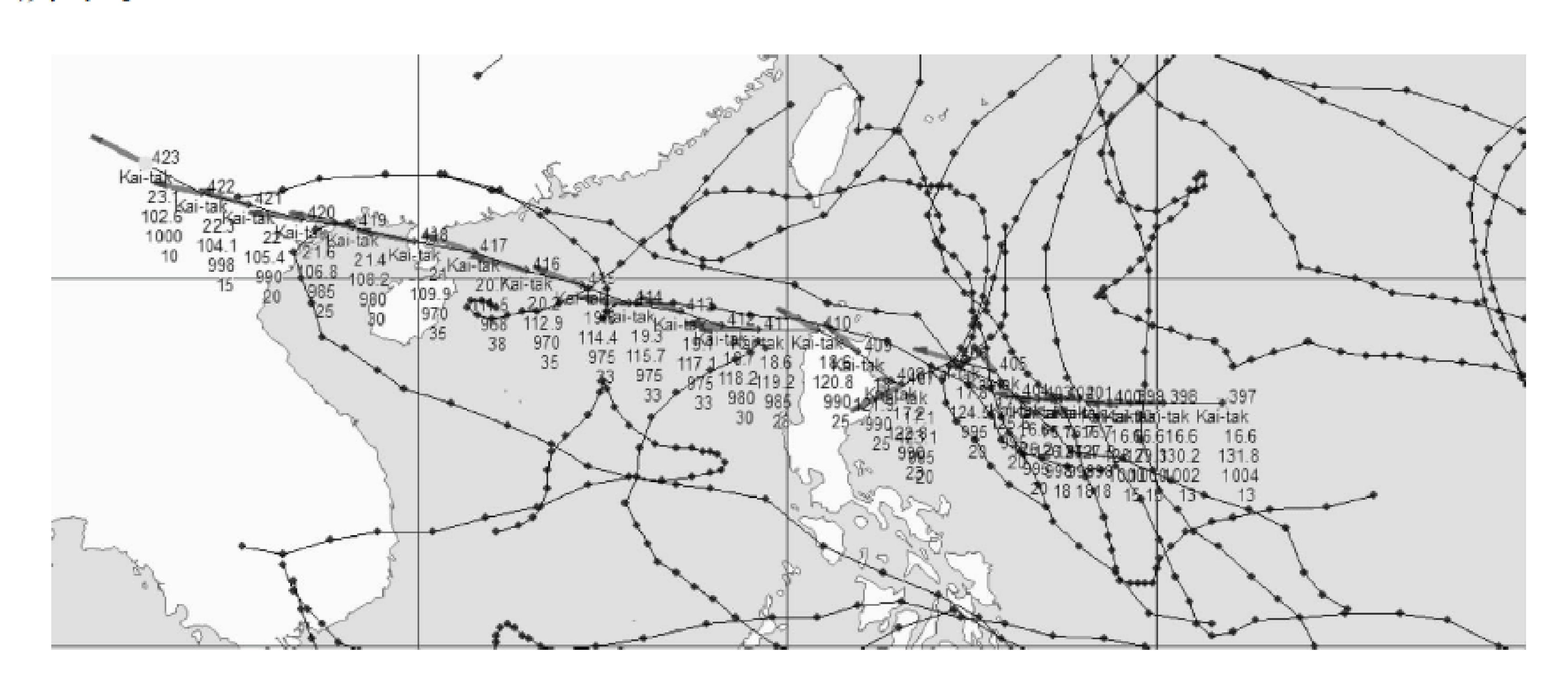


图 5-28　利用步进工具固定活动事件和固定活动轨迹

7. 设置时间窗

在图层属性的符号选项卡中为 Typhoon2012 图层设置时间窗，使时间窗口仅显示过去 14 天的数据，将 14 天的数据按 2 天 1 组分为 7 组颜色，如图 5-29 所示。

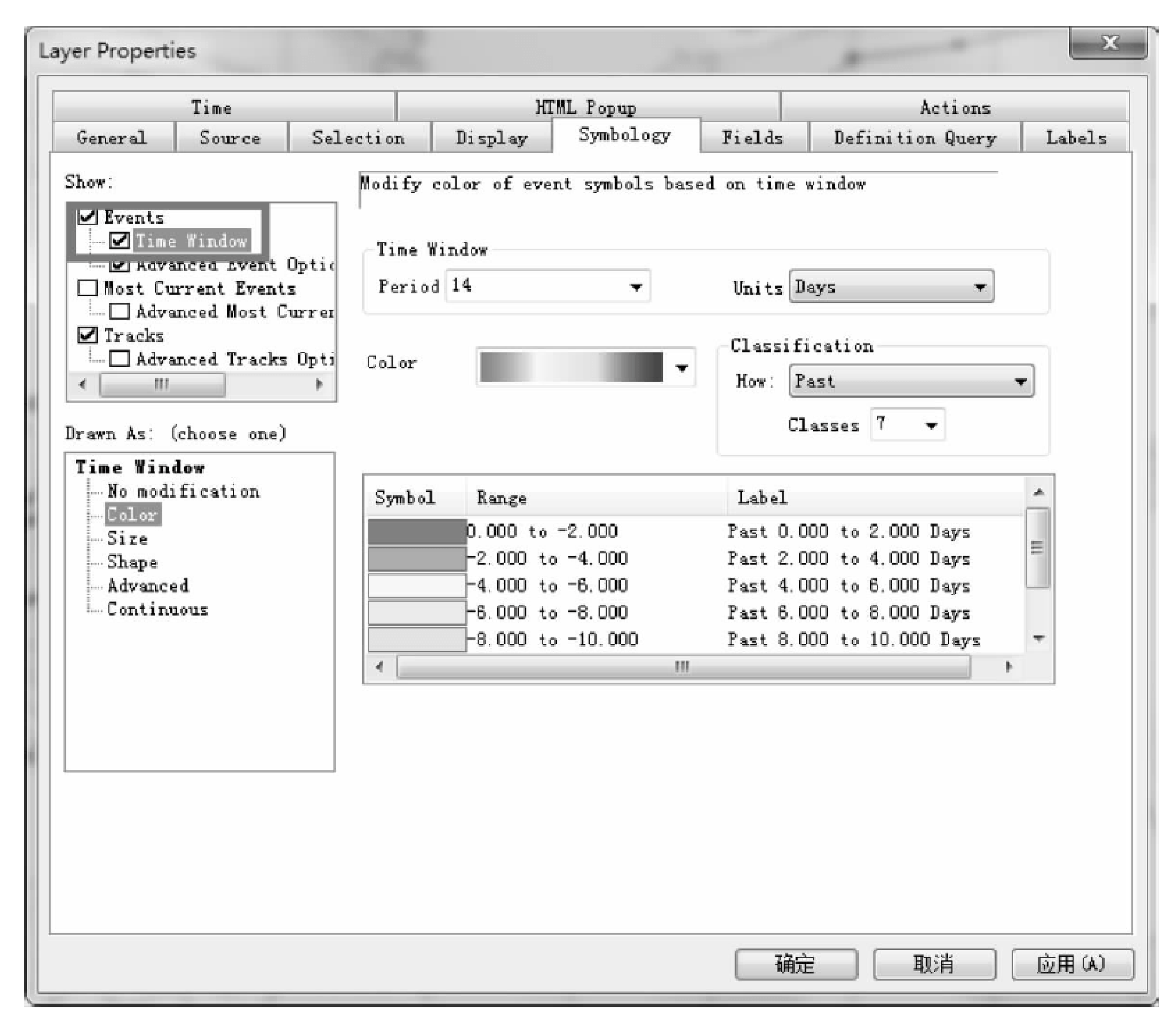


图 5-29　设置追踪图层的时间窗

8. 在图层属性的标注选项卡中使用追踪 ID 标注时间窗内最新事件（见图 5-30）

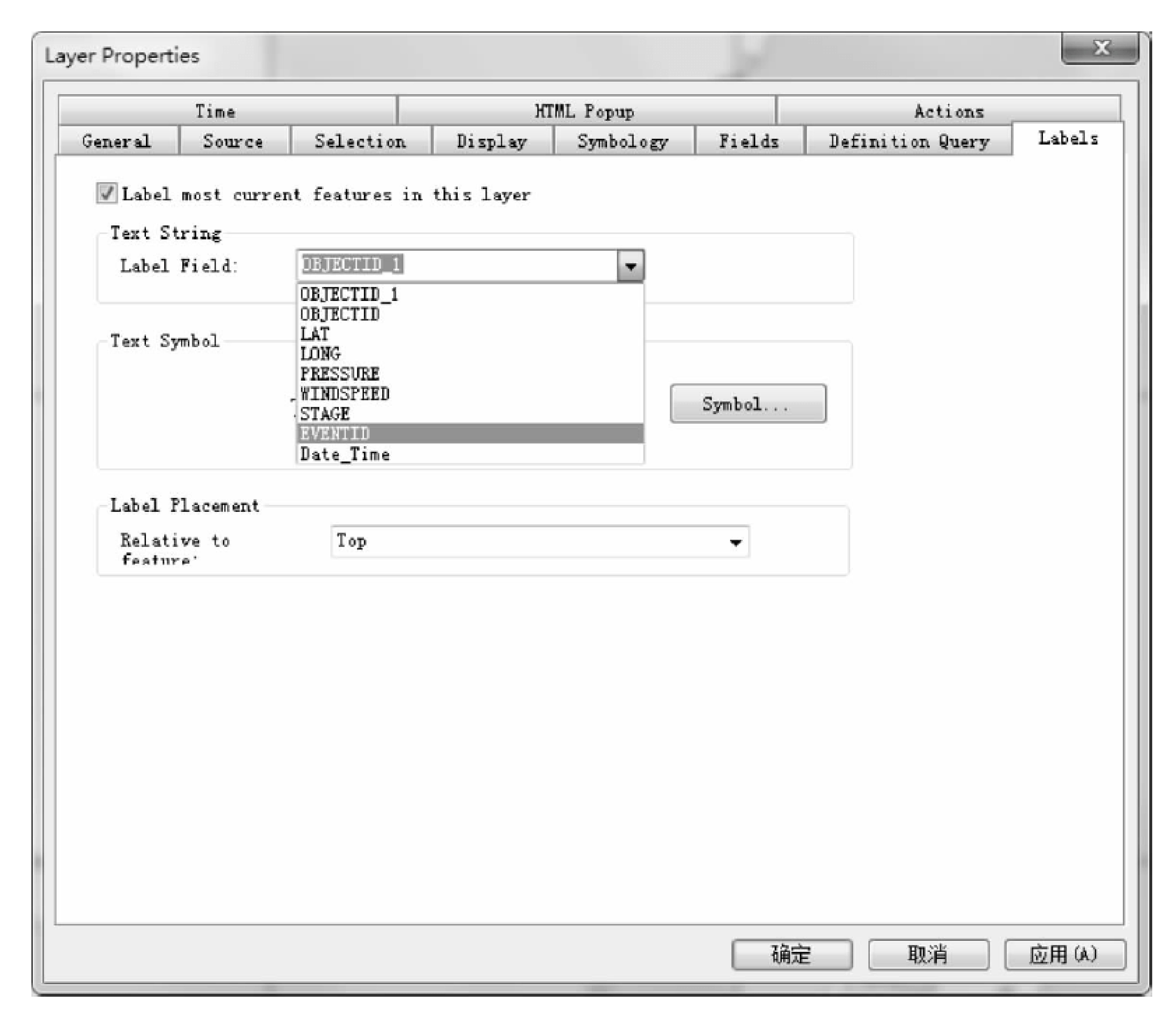


图 5-30　设置标注最新事件

9. 回放数据

打开回放管理器，使用默认的起始、当前、结束时间，将回放速率设为每秒 6 小时，回放台风路径(见图 5-31)。注意此时虽然使用了累计模式，但是受到步骤 7 设置的时间窗的限制，地图上只会显示 14 天以内的数据。

自动播放速度较慢，如果用户只是想快速浏览一遍，可以直接拖曳数据直方图中的红色标签(注意要先停止自动播放模式)，该标签表示当前时间。

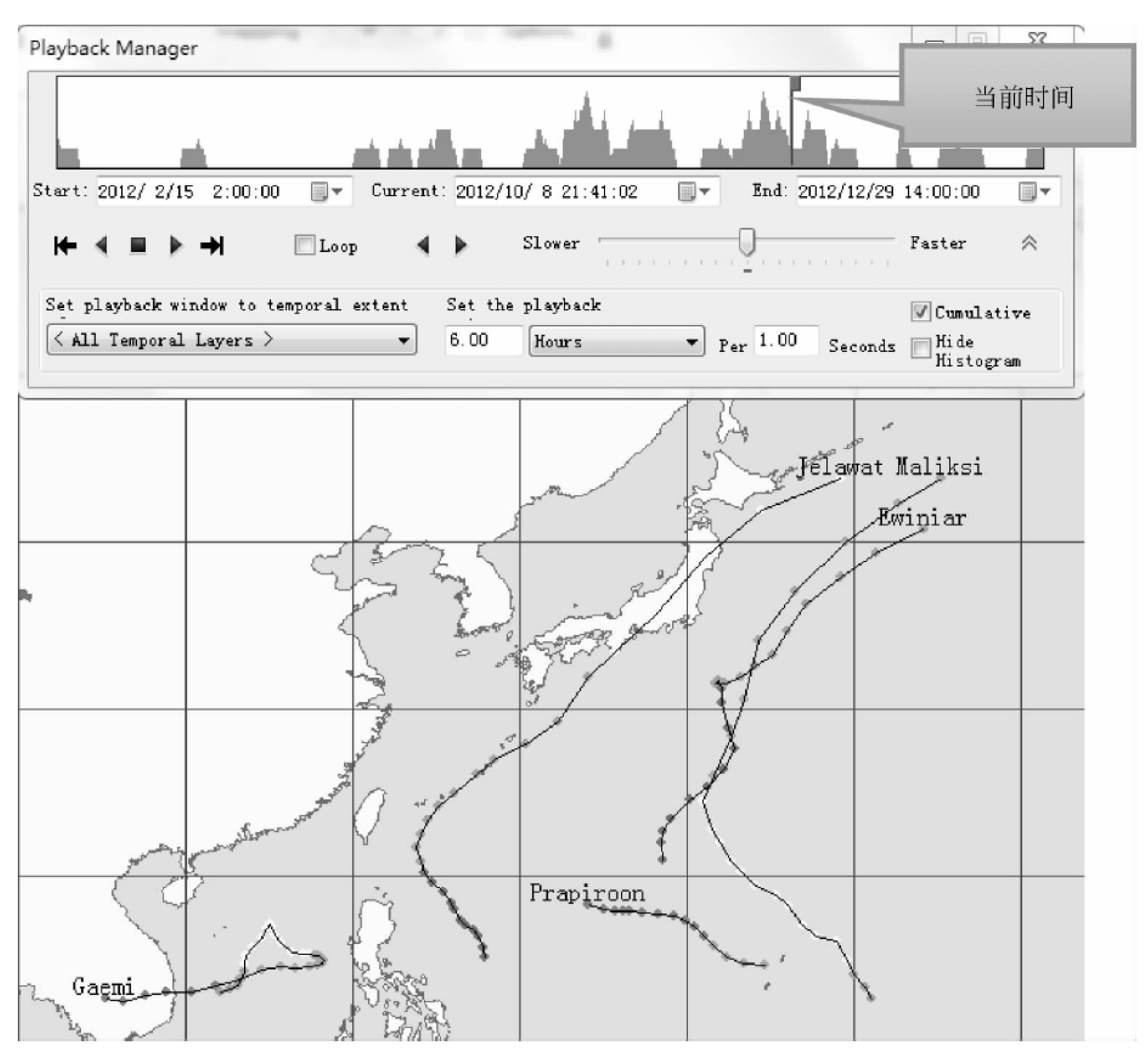


图 5-31 利用回放管理器回放数据

用户可尝试取消累计模式，可以看到数据直方图中的红色标签变成了两个，拖曳其中一个，拉出一个小的时间窗口，如图 5-32 所示。观察图 5-31 与图 5-32，此时当前时间均为 2000 年 9 月 30 日 17:01:10，但是地图上显示的事件数量不一致，图 5-32 取消了累计模式，相当于在原有 14 天时间窗的基础上再叠加了一个更小的时间窗口，因此地图上只显示有效时间窗口内的事件。

10. 设置图层操作

设置当台风登陆且风速大于 30m/h，该事件将在地图上高亮显示(见图 5-33)。

打开图层属性对话框，选择“操作(Actions)”选项卡，单击“新建操作(New Action)”按钮，在打开的对话框中输入操作的名称，比如“Highlight”，选择操作类型为“高亮/禁止(Highlight/Suppression)”。

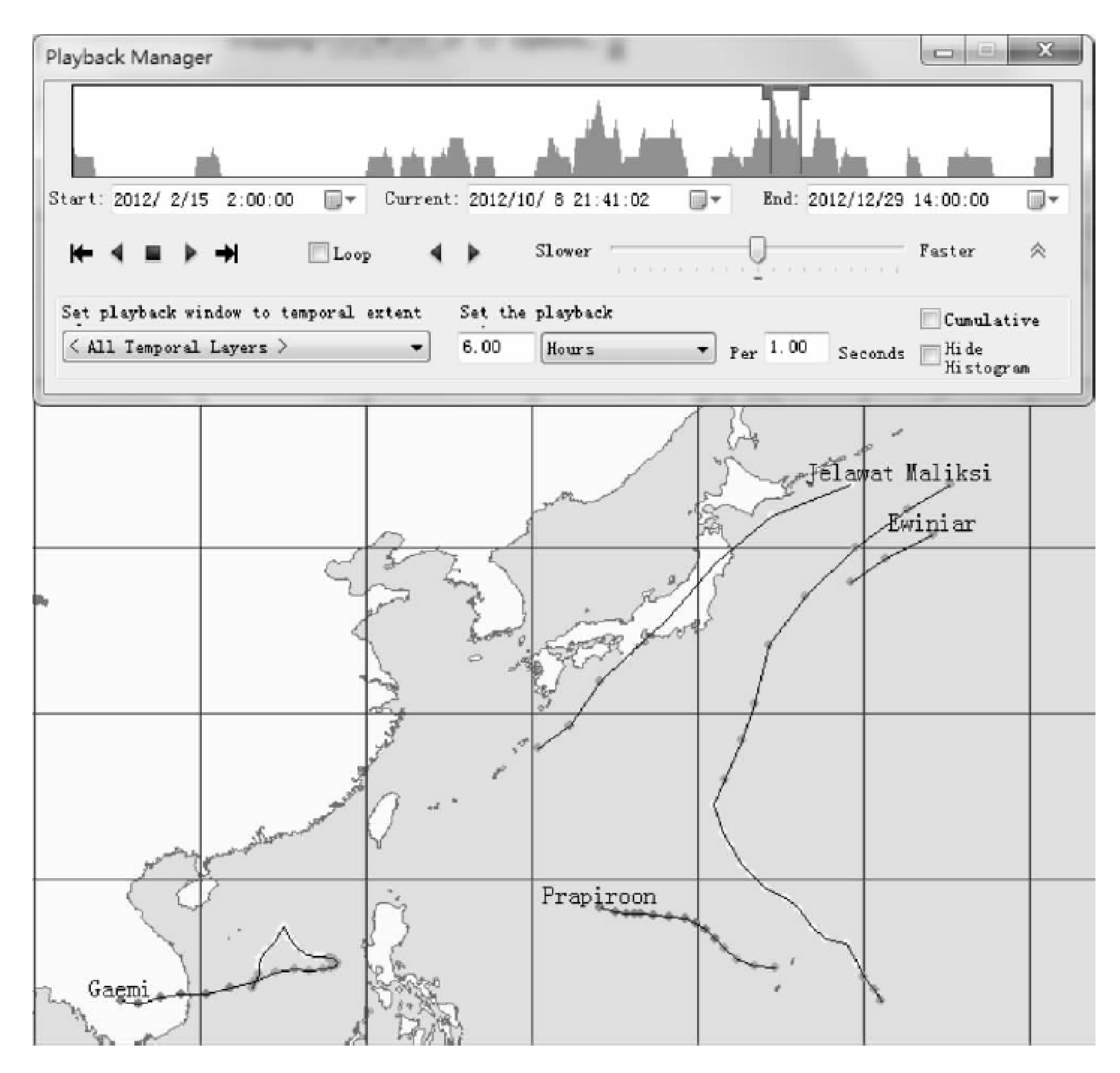


图 5-32　取消回放累计模式

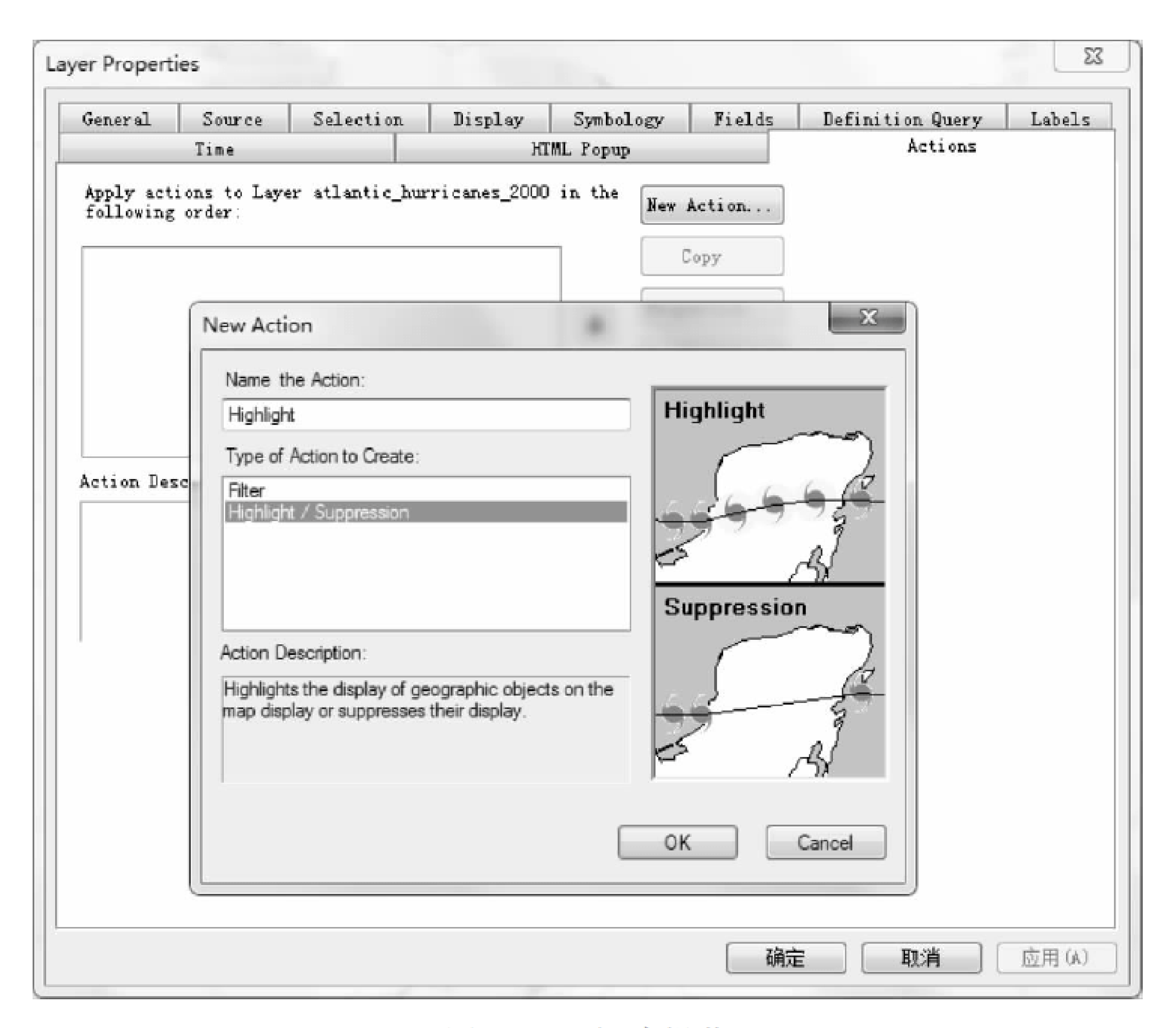


图 5-33　新建操作

在打开的操作参数对话框中，选择操作类型为“高亮(Highlight)”，设置高亮显示的符号样式，并设置属性触发条件为风速(WINDSPEED)大于 30，位置触发条件为与陆地(Continent)图层相交(见图 5-34)。

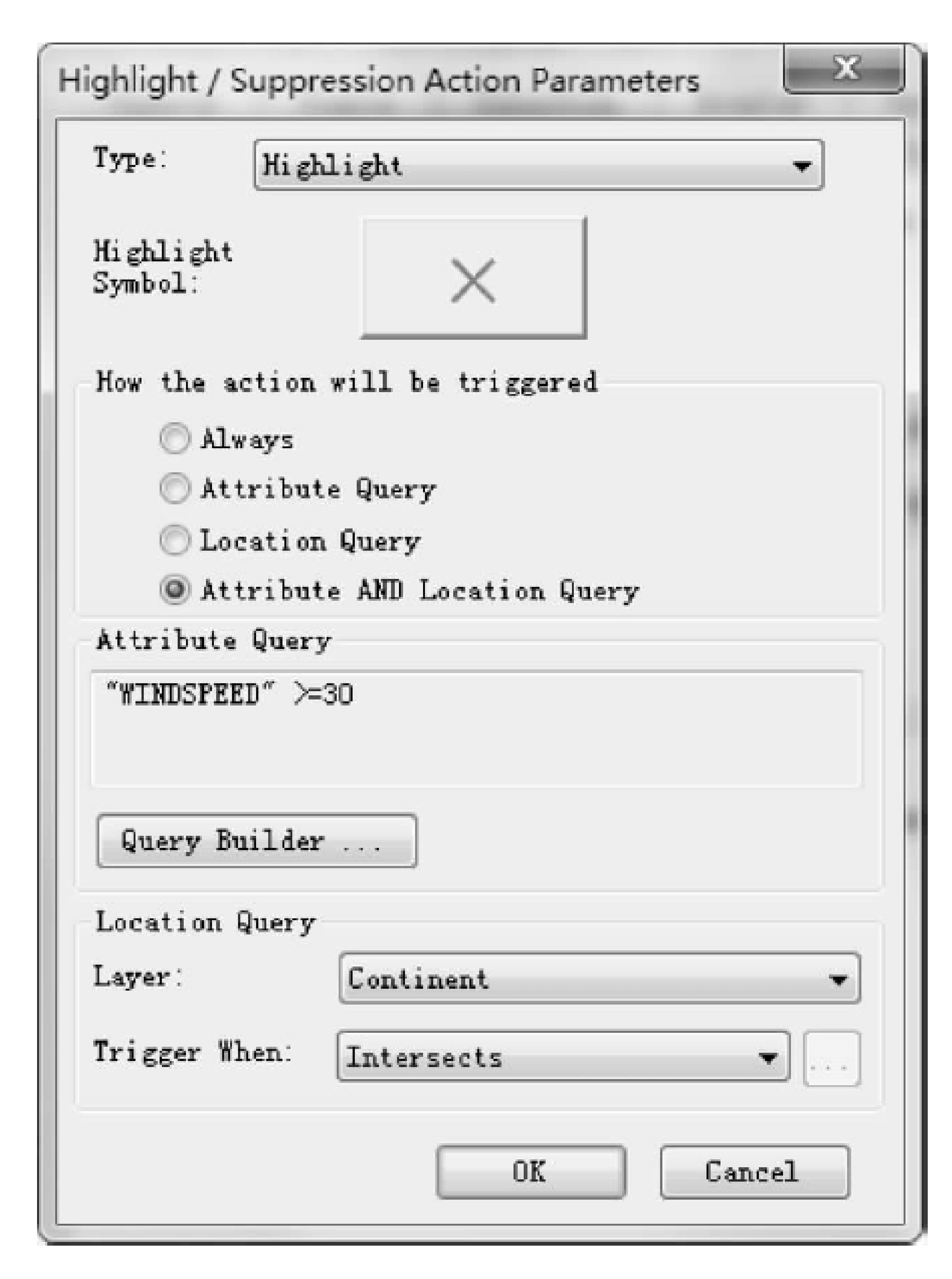


图 5-34　设置操作触发器

本实验提示 4：位置触发器能设置的位置关系有五种，包括：相交(Intersects)、不相交(Not Intersects)、到达(Arriving)、离开(Departing)、追踪交叉(Track Crosses)。前四种位置关系较好理解，"追踪交叉"触发器指的是当某个事件与上一个事件(时间上连续)之间的轨迹线(也叫追踪线)与多边形边界相交时，触发操作。

设置完后，利用回放管理器再次回放台风数据，观察在哪些事件点上操作得到了执行。

11. 作出数据圆环图，分析台风事件的时间规律

利用追踪分析工具条打开数据圆环图工具，设置数据的汇总方法、图例和配色方案，生成数据圆环图。如图 5-35、图 5-36 所示，分析表明台风主要集中在每年的 8—10 月。

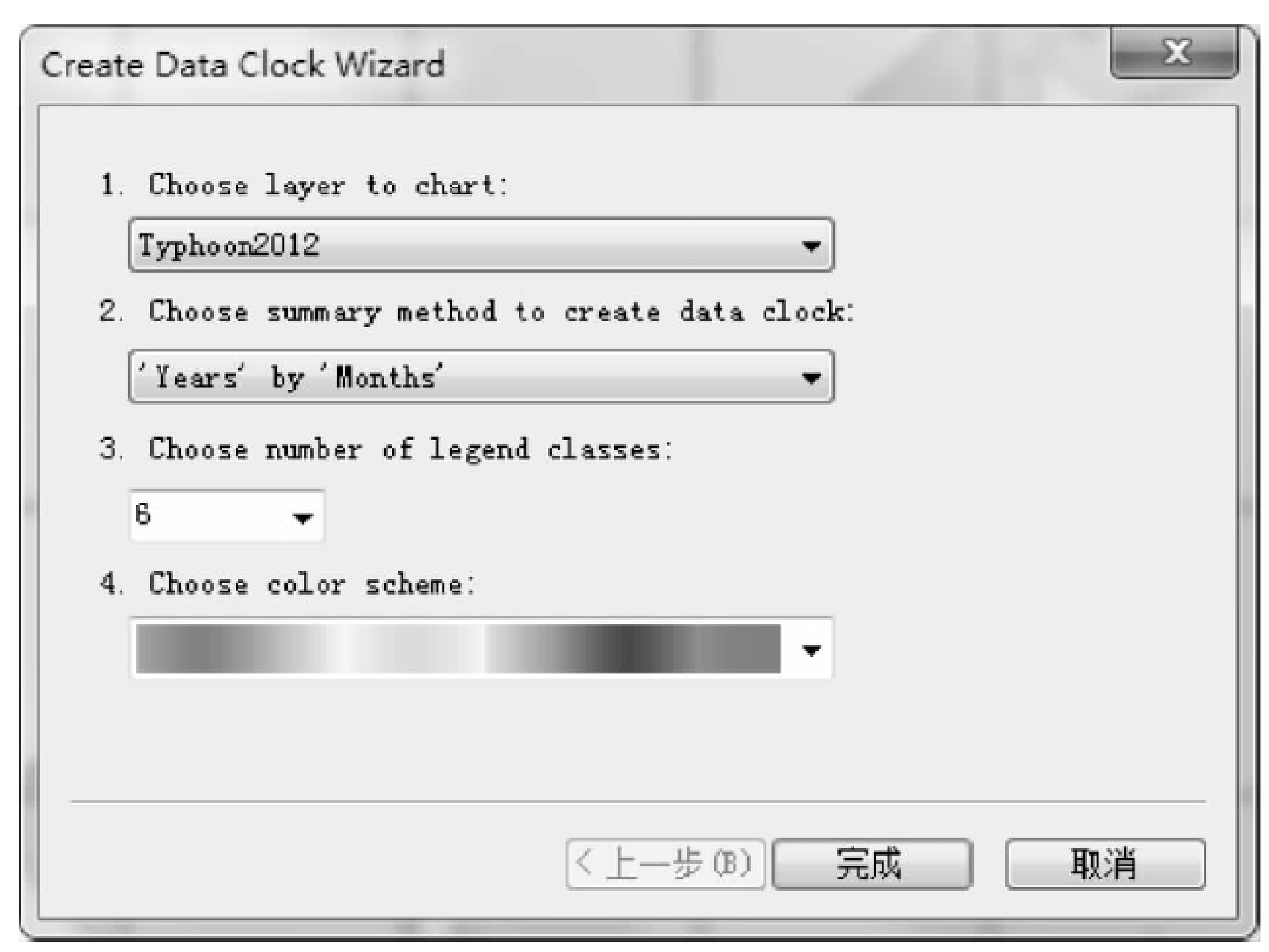


图 5-35　新建数据圆环图

如果想要修改数据圆环图的参数,可以在图上单击右键打开属性对话框,重新设置各种参数。用户可尝试用不同的汇总方法统计数据。

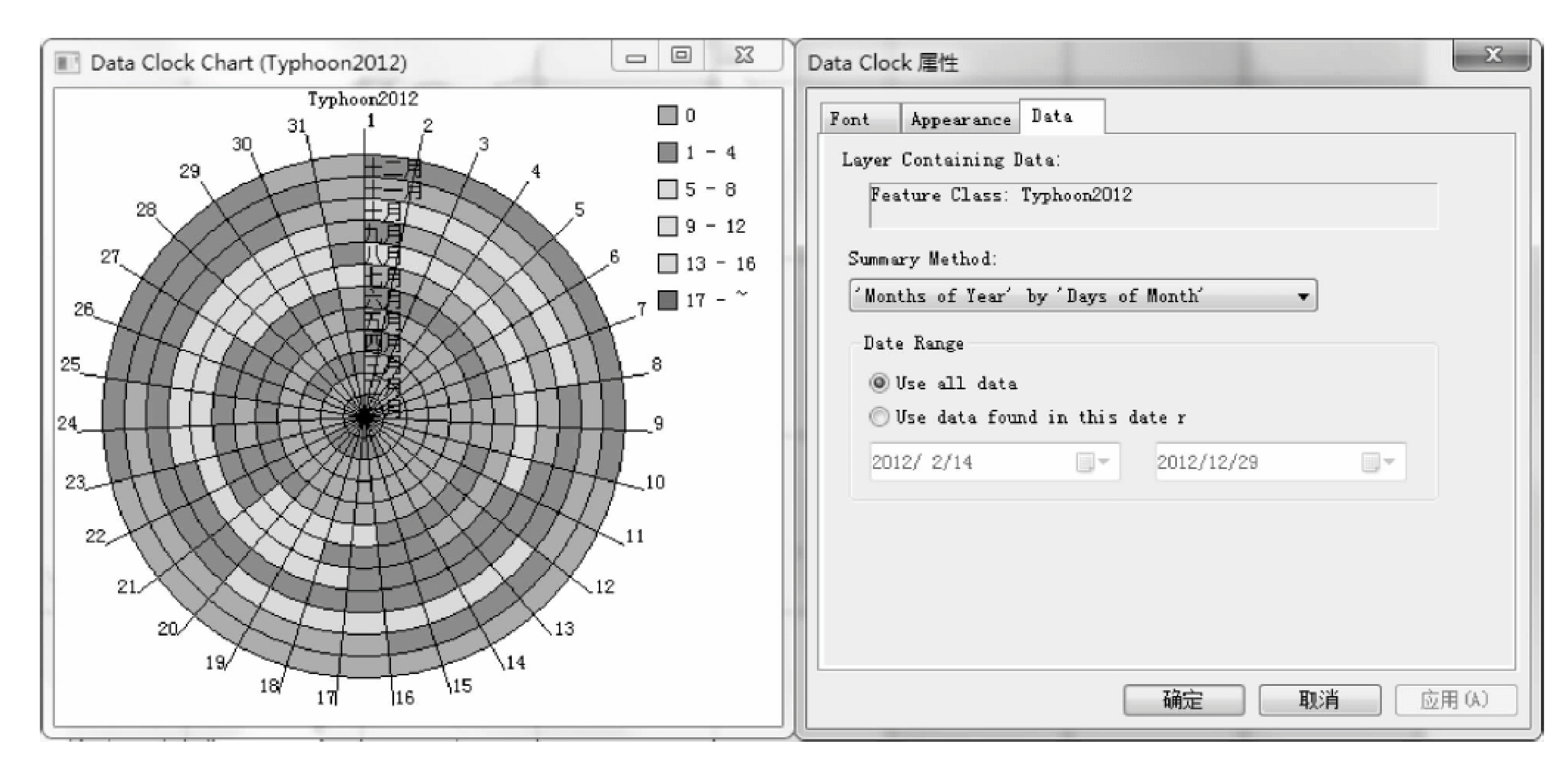


图 5-36 数据圆环图及其属性

六、拓展练习

利用 ArcGIS 追踪分析技术分析中国南太平洋热带气旋路径。

1. 下载某一年热带气旋的最佳路径数据集,编辑该数据集,按照"日期_时间"、"热带气旋等级"、"纬度"、"经度"、"气压"、"中心最大风速"、"名称"字段组织数据,包括 nameless 的热带气旋数据(热带低气压)。

本实验提示 5:通过中国台风网了解台风的基本知识,网址:http://www.typhoon.gov.cn/。

本实验提示 6:通过中国气象局热带气旋资料中心下载历年台风数据,网址:http://tcdata.typhoon.gov.cn/zjljsjj_sm.html。

2. 了解如何将文本文件导入数据库,将该最佳路径数据集以表格形式导入地理数据库,并生成相应的点要素类,建议先将 txt 文件转为 csv 文件。

本实验提示 7:可参考 ArcGIS 帮助文件,目录为:地理数据—数据类型—表—创建和编辑表—添加 ASCII 或文本文件表。

3. 将中国省级边界作为底图,添加到地图工程文件中。

4. 在地图工程文件中添加追踪数据(热带气旋最佳路径),注意日期时间格式如何转换,以热带气旋名字作为追踪 ID,并使用过滤器过滤掉 nameless 的热带气旋数据。

5. 添加轨迹线。

6. 生成数据时钟环,分析热带气旋的时间规律。

7. 设置七天的时间窗,采用不同的颜色符号化追踪数据,并用名称标注最新事件。

8. 在地图上显示各个台风最新事件(仅最新事件)周围 300km 的影响范围。

9. 当热带气旋等级在 4—6 级之间(台风、强台风、超强台风),距其中心 300km 范围

内的地区将受到影响，需要启动应急响应预案，对影响广东省的台风最新事件的影响范围应用高亮显示操作。

本实验提示8：缓冲区的建立可参考ArcGIS帮助文件，目录为：桌面—地理处理—工具参考—分析工具箱—邻域分析工具集—缓冲区，注意坐标系的选择。

本实验提示9：缓冲区也应以追踪图层的形式加载。

10. 在回放管理器中查看上述设置，并将上述设置以avi格式动画展示出来。

11. 思考GIS中的追踪技术在校园中的应用，按照以下思路简述你的想法：

(1) 解决什么问题。

(2) 该问题的现状是什么，有什么缺点或隐患。

(3) 你采用什么方案解决该问题，解决方法中如何应用到GIS的追踪技术，难点在哪里。

(4) 预期效果、结论。

实验六　空间分析与建模技术

一、实验目的

1. 了解 GIS 中的空间分析模块能够解决哪些现实问题，思考其在应急管理中的应用。

2. 熟悉解决空间问题遵循的概念模型，熟悉各种执行空间分析的工具，掌握依照概念模型的步骤，建立模型并求解空间分析问题。

3. 理解地理处理环境的基本概念，了解不同级别的环境设置对地理处理过程的影响。

4. 了解空间分析中的运算类型。

5. 理解监督分类与非监督分类的基本概念，以及进行影像分类的目的与过程。

二、实验内容

1. 利用某小镇的空间数据，尝试分析“为新学校选址”问题。

2. 遵循解决空间问题的概念模型，利用模型构建器构建空间模型，完整表达并求解选址问题。

3. 将空间分析技术应用在深圳大学城清华园区中，分析大学城内与应急管理相关的关键设施分布合理性问题。

三、输入输出

1. 输入数据

(1) Spatial Analyst 文件夹，内涵 Stowe 地理数据库与 Site Analysis 地图工程文件；

(2) 实验练习 2 拓展练习中输出的地理数据库和地图工程文件，内含深圳大学城清华园区消火栓分布数据；

(3) 实验练习 4 拓展练习中构建的深圳大学城清华园区路网数据。

2. 拓展练习输出数据

(1) 保存中间结果的临时文件地理数据库；

(2) 保存最终结果以及空间模型的文件地理数据库；

(3) 地图工程文件，至少包含消火栓(点要素)、火灾风险等级分布图(栅格)、消火栓分布合理性分析图(栅格)、大学城底图(栅格)等四个图层；

(4) 实验报告，请详细描述课后作业的分析思路与分解步骤。

所有输出文件命名规则遵循：练习 6_制图者姓名。

四、预备知识

1. 栅格数据基础知识

由于 ArcGIS 中的空间分析(Spatial Analyst)模块是一套基于栅格数据的建模与分析工具[19],在使用空间分析工具时,一定要会使用或者创建栅格数据集。

前文提到,计算机通过矢量和栅格两种数据模型来表达地理实体,其中最常见的栅格数据是由按行和列组织的像元矩阵组成的,每个像元都包含一个信息值。空间分析工具就是通过对每个像元值应用数学规则、空间规则或算法规则来进行分析处理,并最终生成输出栅格数据的。根据每个像元信息值所表示的意义不同,栅格数据可以分两大类:专题数据和图像数据。专题栅格数据的像元值表示某种测量或特定现象的分类,比如土地利用类型、某种用途的分区等;图像栅格数据的像元值表示图像中对象对电磁波的反射率,比如卫星影像、航拍相片等[14]。当某个像元所表示的位置不存在任何特征信息时,会给该位置分配一个空值"NoData",注意 NoData 不等于 0,0 是有效值,NoData 是无效值。

像元的形状可以有方形、六边形、三角形等,不过对 ArcGIS 的空间分析模块来说,仅能处理方形像元的栅格数据,每个像元的尺寸在行和列两个维度上必须相同。在设置地理处理环境时,会要求用户设置像元的大小。像元大小决定了栅格的空间分辨率,默认情况下,输出分辨率由最粗糙的输入栅格数据决定。事实上,ArcGIS 的空间分析工具处理结果的精确度也只能与精度最低的输入栅格数据相同,比如用户使用了 30m 精度的高程数据,那么从高程数据派生出来的坡度数据最高也只能有 30m 的精度,即使用户设置创建 10 米分辨率的坡度栅格数据,也不能获得更详细的坡度信息[19]。

一些栅格数据具有单波段,另一些栅格数据则具有多个波段,比如前面多个练习中用到的深圳大学城清华园区栅格底图,就是一个具有三波段的栅格数据。实际上大多数卫星影像都具有多个波段,一个波段对应了一定频率范围的电磁波(紫外区、可见光区、近红外区、中红外区等),比如美国 IKONOS-2 陆地卫星,就使用线性阵列技术获取 4 个波段的多光谱数据,全色波段为 0.45~0.90μm,覆盖了可见光和近红外区域[18]。因此对于多波段的栅格数据来说,每个像元位置都与多个值相关联。当利用多波段栅格数据创建地图图层时,可以选择只显示某一个波段数据,或者是利用任意三个波段来组合创建彩色合成图。用户可以打开实验练习 2 的地图工程文件,查看深圳大学城清华园区栅格底图的图层属性中的符号选项卡,如图 6-1 所示,可以看到该图层利用了第 1、2、3 个波段创建 RGB 合成图。

ArcGIS 的大多数空间分析工具都只能针对第一波段执行操作,比如条件分析工具、密度分析工具等,但是也有部分空间分析工具能够处理多波段输入中的各个波段,并创建多波段输出,比如"多元分析"工具集就是专门为多波段栅格数据的分类和主成分分析而设计的。

除了像元、波段之外,栅格数据还有一对需要区分的基本概念,叫分区和区域。在一个栅格数据中,具有相同值的所有像元都属于一个分区,如图 6-2 中底色为紫色的分区,该图共有 5 个分区。而具有相同值且相邻的所有像元都属于一个区域,比如图 6-2 中红色框内的像素就构成了一个区域,显然一个分区可以具有多个区域。区域常用来表示单

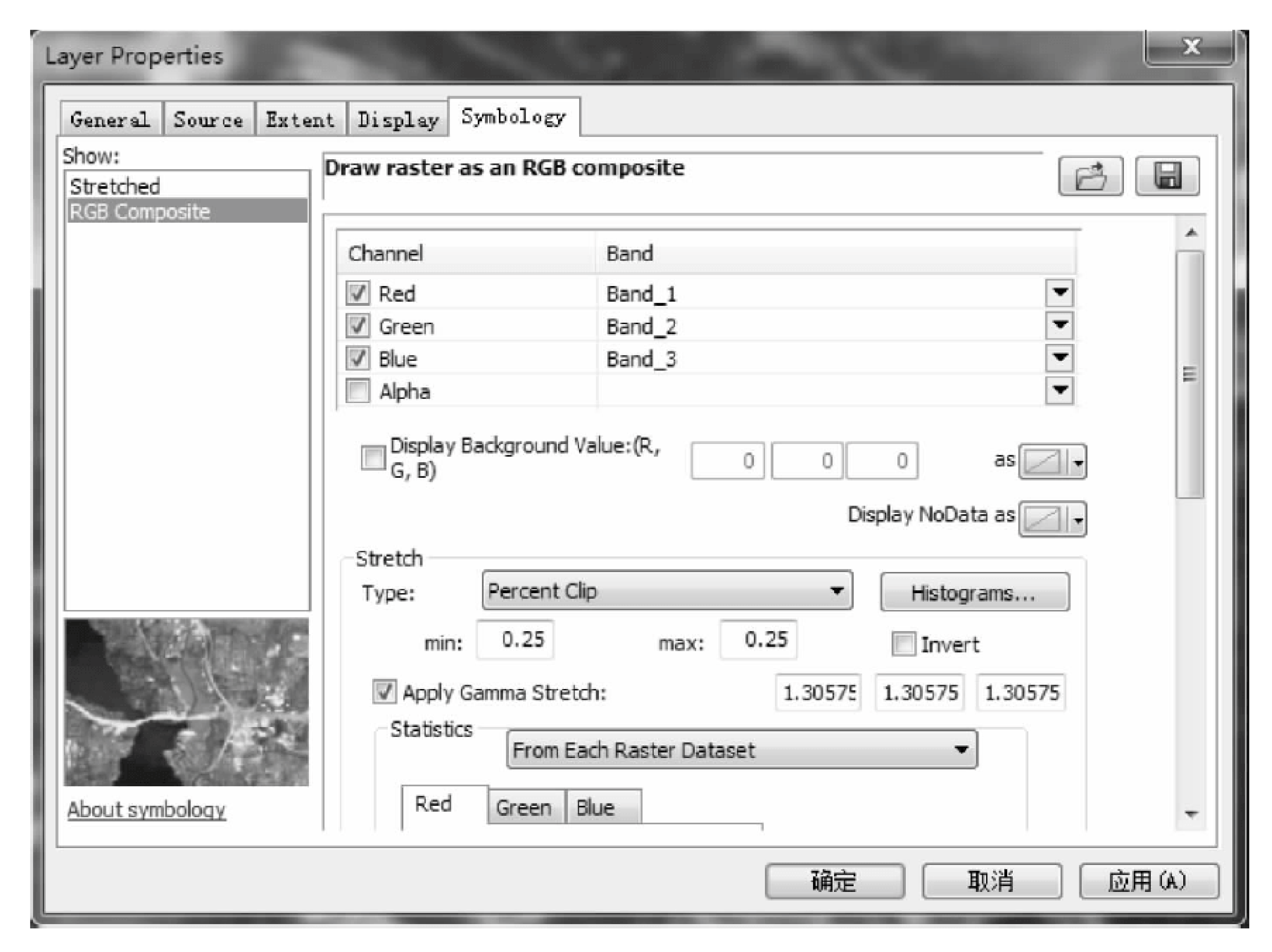


图 6-1　深圳大学城清华园区栅格底图符号选项卡

个要素，比如一个建筑物、一片水体、一条路等，而分区则可以用来表示一类要素，比如图 6-2 中值为 2 的像元均表示建筑，值为 4 的像元均表示草坪等。

在空间分析工具箱中，有专门针对分区或区域的工具，使用时要注意区分，比如制图综合工具集中的区域合并工具只能处理同一个区域内的像元，而区域分析工具集中的分区统计工具，则能处理同一个分区中的像元。

2	1	4	4	4	1
2	2	1	5	5	1
2	2	1	5	5	1
1	2	4	1	2	1
3	3	3	1	2	1
1	1	3	4	4	4

图 6-2　分区与区域[7]

类似于矢量数据，栅格数据也可以有属性表，栅格属性表具有三个默认字段：ObjectID、值(Value)和计数(Count)，如图 6-3 所示。ObjectID 是 GIS 系统自动分配的唯一对象标识符，Value 是像元值，Count 是具有该值的像元数量(注意 NoData 表示的像元不会在栅格属性表中计算)，这三个默认字段的属性值是由系统自动计算的。不难理解，具有属性表的栅格数据通常用于表示某种分类情况，每个分区在属性表中都分配了一条

记录，比如反映土地利用情况的栅格数据，代表同一种土地利用类型的像元具有相同的值，同属一个分区，在属性表中占有一条记录。

	OBJECTID *	VALUE	COUNT	LANDUSE
▶	1	1	294	Brush/transitional
	2	2	62187	Water
	3	3	28	Barren land
	4	4	36034	Built up
	5	5	85054	Agriculture
	6	6	671722	Forest
	7	7	12241	Wetlands

图 6-3　栅格数据属性表

最后简单介绍一下空间分析模块支持的栅格数据格式。对于输入栅格数据，空间分析模块支持 ArcGIS 支持的所有栅格格式，但是对于输出栅格数据，空间分析模块只支持 Esri Grid、地理数据库栅格、TIFF 图像(.tif)，以及 ERDAS IMAGINE(.img)四种栅格格式。在指定输出栅格数据的位置和名称时，同时指定其创建格式。不过 ArcGIS 也提供了专门的栅格数据格式转换工具，所有只要输出栅格数据被创建了，用户可以很容易地将其转换为其他格式[19]。

2. ArcGIS 中的地理处理工具和地理处理模型

ArcGIS 的地理处理(GeoProcessing)提供了执行分析和管理地理数据的工具和框架。打开地理处理菜单中的 ArcToolbox 窗口，可以看到大量成套的工具按照不同的主题组成多个工具箱，如图 6-4 所示。这些工具能够单独使用，也可以通过模型构建器或者编写脚本，将一系列工具串联起来，从而帮助用户自动地甚至是批量地执行各项 GIS 任务。

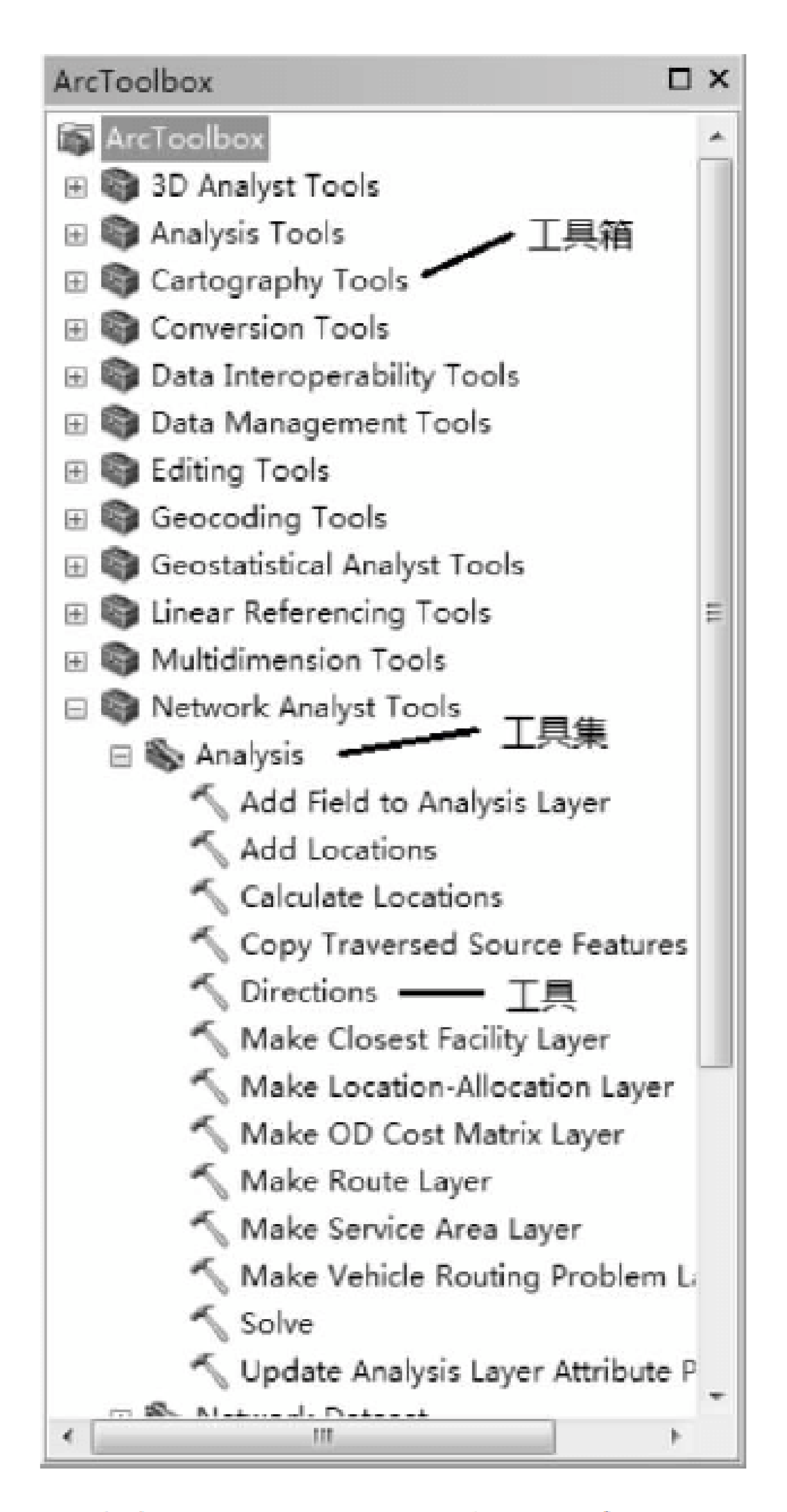


图 6-4　ArcToolBox 窗口

地理处理工具可分为四种类型[20]：

（1）内置工具

内置工具（用图标🔨表示）属于系统工具，随 ArcGIS 软件一起安装，用户可以在 ArcToolbox 窗口或者搜索窗口中查找这些工具。当使用这些工具时，ArcGIS 提供了标准的工具对话框，引导用户完成参数输入、验证、执行等操作，如图 6-5 所示。

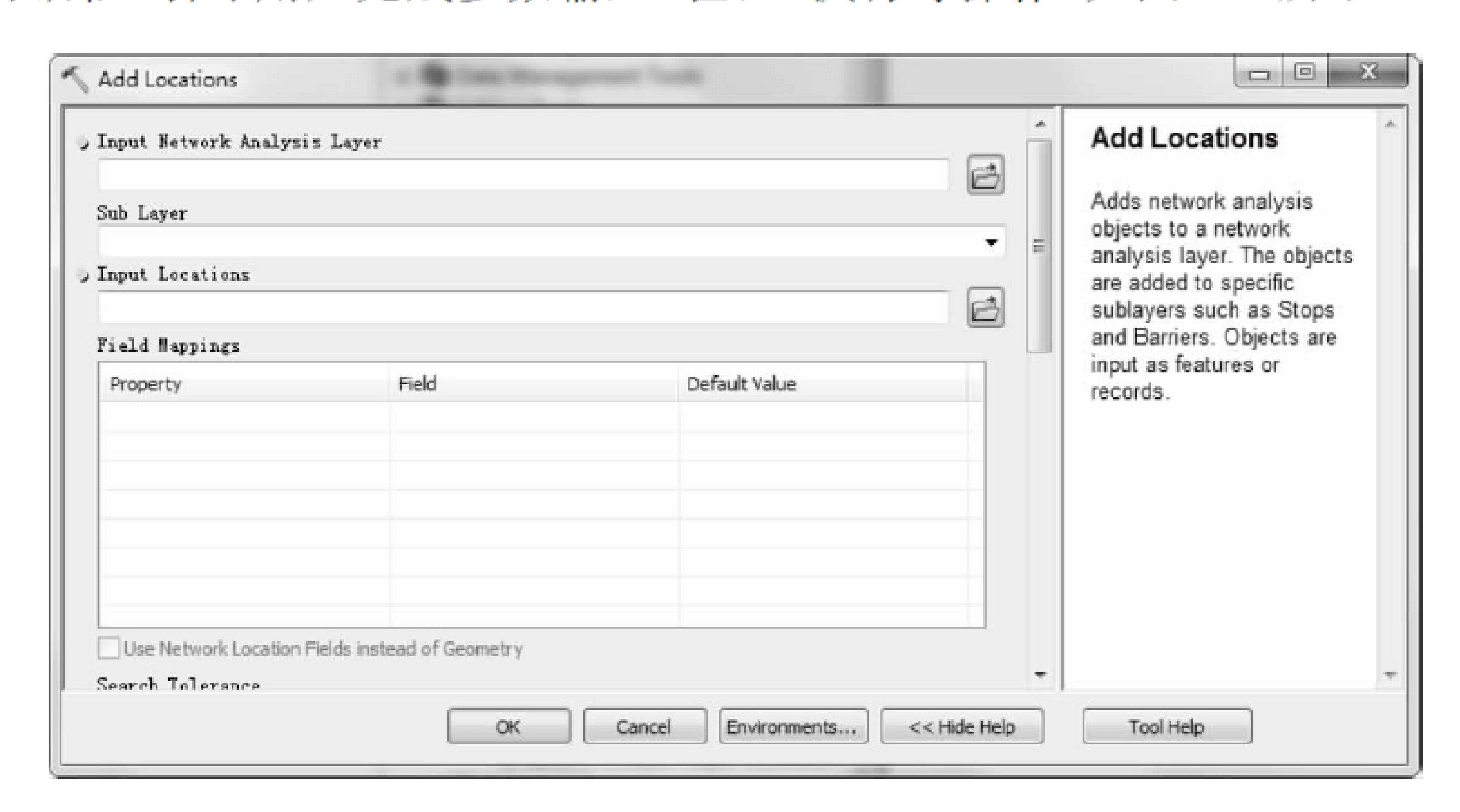


图 6-5　地理处理工具对话框

（2）模型工具

模型工具（用图标表示）属于自定义工具，在一个模型中用户可以构建一个工作流，将一系列地理处理工具甚至一系列模型串联起来，形成一个新的工具，来完成一个流程化的，包含多个顺序步骤的任务。ArcGIS 提供了一个可视化的创建和编辑模型的工具——模型构建器，如图 6-6 所示，用户可以直接将 ArcToolbox 中的工具或者已构建的模型拖

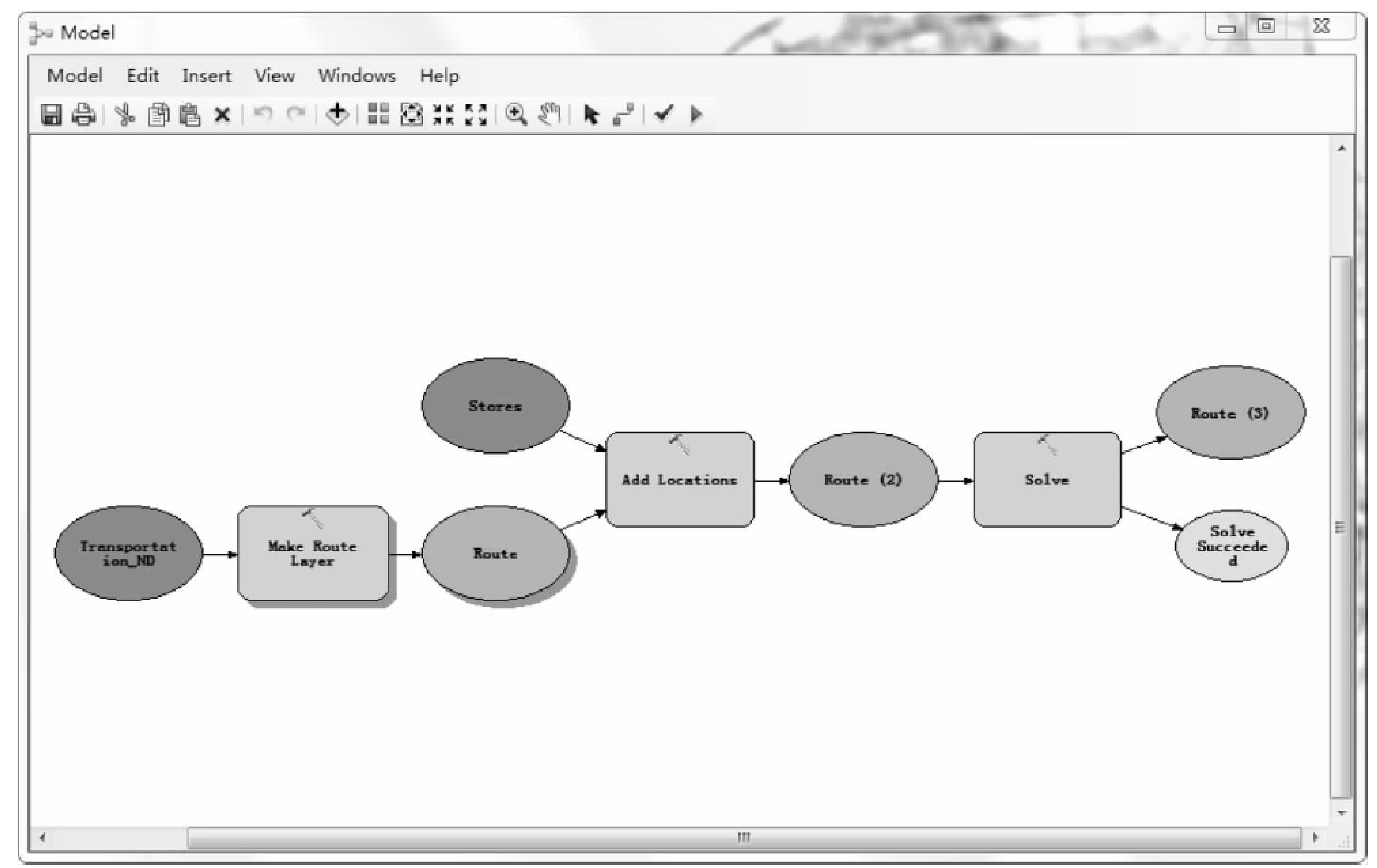


图 6-6　模型构建器

入模型构建器中,并将一个工具的输出作为另一个工具的输入。由于模型也是工具,因此可以嵌套使用、导出分享,或在脚本中使用。学会为一些反复执行的操作构建模型工具能够使 GIS 任务更加简明高效。

(3) 脚本工具

脚本与模型类似,都属于自定义工具,不同在于脚本工具是使用基于文本的语言和文本编辑器创建的。ArcGIS 使用的脚本语言是 Python 语言,Python 是一种跨平台的开源编程语言,具有处理速度快、功能强大且简单易学的特点。当安装 ArcGIS 时,系统会自动安装 Python 和 ArcPy 站点包,ArcPy 站点包中包含了所有地理处理工具以及用于问询 GIS 数据的多种函数,这些函数可以在 Python 脚本中直接调用。

(4) 特殊工具

特殊工具较为少见,由系统开发人员构建,此处不做介绍。

3. ArcGIS 中的空间分析模块

ArcGIS 的空间分析模块提供了非常强大的空间建模与空间分析功能,在应急管理领域应用广泛。利用该模块可以从栅格数据中获取丰富的信息,辅助分析与决策,比如从高程数据中可以获取坡度、坡向数据,进行视域和可见性分析;从卫星影像数据中可以获取土地利用类型信息,甚至可以进一步分析地物随时间的变化情况,辅助预测预警;从地形数据中获得行程成本,计算出任一像元位置到源像元位置的最佳廊道;分析某个观测量在空间上的密度分布,直观显示热点;甚至是河流网络、地下水成分的对流扩散等专业领域问题也有所涉及。

ArcGIS 强大的空间分析功能依赖于其丰富的空间分析地理处理工具,在 ArcToolBox 中展开空间分析工具箱(Spatial Analyst Tools),可以看到 19 个工具集,共包含 170 个地理处理工具,如表 6-1 所示[19]。用户可以通过访问这些地理处理工具集,利用模型构建器组织和执行空间分析任务,实现多种复杂的栅格操作。

表 6-1　ArcGIS 的空间分析工具箱

工具集	描　　述
条件分析 (Condition)	通过对输入的像元值应用条件,来控制输出像元值。应用的条件可以是简单的属性查询,也可以是基于列表的位置条件。条件分析工具集包括条件函数、选取函数、设为空函数等 3 种工具。利用条件分析工具可以对栅格数据进行简单分类,比如根据某种危险源属性信息,将表示区域范围的栅格数据划分为安全区和非安全区
密度分析 (Density)	计算每个栅格像元周围邻域内的要素密度。密度分析工具集包括核密度分析、线密度分析、点密度分析 3 种工具。利用密度分析工具可以得到要素的分布情况,比如犯罪热点、疾病分布等
距离分析 (Distance)	计算像元到源之间的欧式距离或者成本距离,以及基于距离的相关分析。距离分析工具集包含了廊道分析、成本分配、成本回溯链接、成本距离、成本路径、欧式分配、欧式方向、欧式距离、路径距离、路径距离分配、路径距离回溯链接等 11 种工具。距离分析工具之于栅格数据,类似于网络分析工具之于矢量数据,常用于各种适宜性分析、选址问题等空间分析任务中

续表

工具集	描　　述
提取分析 (Extraction)	根据属性或位置要求,从输入栅格中提取像元的子集。提取分析工具集包括按属性提取、按圆形区域提取、按掩模提取、按点提取、多边形提取、按矩形提取、多值提取至点、值提取至点、采样等9种工具
制图综合 (Generalization)	也叫栅格综合,用于清理栅格中较小的错误数据,或用于概化数据,降低数据的详细程度,以便删除分析中不需要的过于详细的信息。制图综合工具集包含聚合、边界清理、扩展、众数滤波、Nibble、区域合并、收缩、细化等8种工具。在执行影像分类操作后,常会应用制图综合工具来清理孤立的小区域数据,生成更美观、更适合后继分析的栅格图层
地下水分析 (Groundwater)	对地下水流中的成分构建基本的对流-扩散模型。包括达西流、达西速度、粒子追踪、孔隙扩散等4种工具。利用该工具可以进行地下水污染物的分布与追踪分析
水文分析 (Hydrology)	对水在地表上的运动情况建立模型。包括盆域分析、填洼、流量、流向、水流长度、汇、捕捉倾泻点、河流链接、河网分级、栅格河网矢量化、分水岭等工具。水文分析工具集能够帮助用户确定地表水的流向、计算流量、描绘分水岭、创建河流网络等
插值分析 (Interpolation)	根据采样点值创建连续的表面。包括反距离权重法、克里金法、自然领域法、样条函数、含障碍样条函数、地形转栅格、依据文件实现地形转栅格、趋势等8种工具。该工具集在气象预报、环境监测等采样点较稀疏的领域经常使用
局部分析 (Local)	通过对多个输入栅格同一位置的像元进行某种分析,比如统计、比较等,将结果记录在输出栅格对应位置像元中。包括像元统计数据、合并、等于/大于/小于频数、最高位置、最低位置、频数取值、等级等9种工具。常用于分析某个观测量随时间的变化情况,比如根据十年的土地利用类型记录,分析其变异度
地图代数 (Map Algebra)	通过将地图代数表达式输入到栅格计算器中,以执行空间分析。由于构建地图代数表达式涉及python语法,此处不详细展开
数学工具 (Math)	包括常规数学工具集、逻辑数学工具集、三角函数数学工具集、按位数学工具集等4种工具集,每个工具集下又包含了可对栅格像元执行算术操作或逻辑计算的多种工具
多元分析 (Multivariate)	将输入的多波段栅格的每个像元按照某种属性关系分配到不同的类型。可用的多元分析主要有两种类型:分类和主成分分析。包括波段集统计、类别概率、创建特征、树状图、编辑特征、Iso聚类、Iso聚类非监督分类、最大似然法分类、主成分分析等9种工具。多元分析工具常用来从卫星影像数据中获取土地利用类型属性
邻域分析 (Neighborhood)	基于输入栅格每个像元自身以及其指定邻域内的所有像元值,创建输出栅格对应位置的像元值。包括块统计、滤波器、焦点流、焦点统计、线统计、点统计等6种工具
重分类 (Overlay)	对输入栅格像元值进行重分类,或者将输入栅格像元值更改为替代值。包括查找表、使用ASCII文件重分类、使用表重分类、重分类、按函数重设等级、分割等6种工具。利用这些工具能够将像元值进行重新分组、分等级,或者将无效值替换为有效值,简化用户的分析过程
栅格创建 (Raster Creation)	创建新的栅格数据,包括创建常量栅格、正态栅格、随机栅格3种工具。可以用来与观测值进行比对,分析观测值是否符合某种统计规律

续表

工具集	描　述
太阳辐射 (Solar Radiation)	针对特定时间段太阳对某地理区域的影响进行制图和分析。包括太阳辐射区域、太阳辐射点、太阳辐射图等 3 种工具。可用于分析日照量,辅助某些生物过程或物理过程建模
表面分析 (Surface)	用于量化及可视化以数字高程模型表示的地形地貌。包括坡向、等值线、等值线序列、含障碍的等值线、曲率、填挖方、山体阴影、视点分析、坡度、视域、可见性等 11 种工具。表面分析工具能够从高程数据入手,挖掘出多种与地形地貌相关的信息
区域分析 (Zone)	基于每个像元所属的分区执行分析,注意同一分区内的像元可以是连续的,也可使不连续的。包括面积制表、区域填充、分区几何统计、以表格显示分区几何统计、区域直方图、分区统计、以表格显示分区统计等 7 种工具。区域分析工具集可以对输入栅格的某种属性进行统计分析,发现其内在规律,或者对指定区域进行填充,绘制某种专题图

空间分析地理处理工具的运算类型可以分为常规运算和应用运算两大类。应用运算是指用于执行某个特定领域的分析运算,比如水文分析工具集专用于创建河流网络并描绘流域。常规运算没有特定应用,比如条件分析工具集、密度分析工具集中的工具等。根据操作中涉及的像元范围的不同,常规运算又可分为局部运算、焦点运算、分区运算和全局运算。局部运算只作用于单个位置的像元,输出栅格每个位置的像元值只取决于输入的一个或多个栅格上同一位置的像元值,比如数学工具集中的各个工具,就属于局部运算工具。焦点运算作用于像元及其邻域,输出栅格每个位置的像元值取决于输入栅格同一位置的像元值及其周围指定邻域的像元值,典型领域是 3×3 单元,也就是包围待处理像元的八个最邻近像元,密度分析工具集就是典型的焦点运算类型。分区运算作用于与像元所在的整个分区,分区的可以是任意形状和大小,可以是连续的,也可以是离散的,区域分析工具集就是典型的分区运算。全局运算作用于输入栅格的所有像元,距离分析工具集就涉及全局运算,比如应用欧式距离工具,输出栅格中的每个像元值都等于输入栅格与其最近源像元的距离,要获得这个距离,必须了解整个输入栅格数据。

只有熟悉空间分析地理处理工具箱,才能利用 ArcGIS 灵活地分析和解决空间分析问题。建议用户进一步查阅 ArcGIS 帮助文件,通过多个实例练习掌握其多种工具的原理和使用方法。

4. 空间分析问题的建模与表达

模型是计算机对现实问题的表达手段,空间分析问题涉及两种模型——表示模型和过程模型。表示模型用于描述对象,例如建筑、河流、宗地等,表示模型由一组依次堆叠的数据图层组成,可以是栅格数据图层,也可以是矢量数据图层,如图 6-7 所示。过程模型用于描述针对表示模型的操作过程,每一个空间分析工具及它们之间的组合都可以看作一个过程模型。

要解决一个空间分析问题,需要将该问题进行合理的表达,以便计算机能够理解。通过将问题分解为具体的子目标,并根据子目标确定所需的元素和步骤,将这些元素和步骤表达为多个表示模型和过程模型的组合,从而构建空间问题的整体模型。图 6-8 描述建

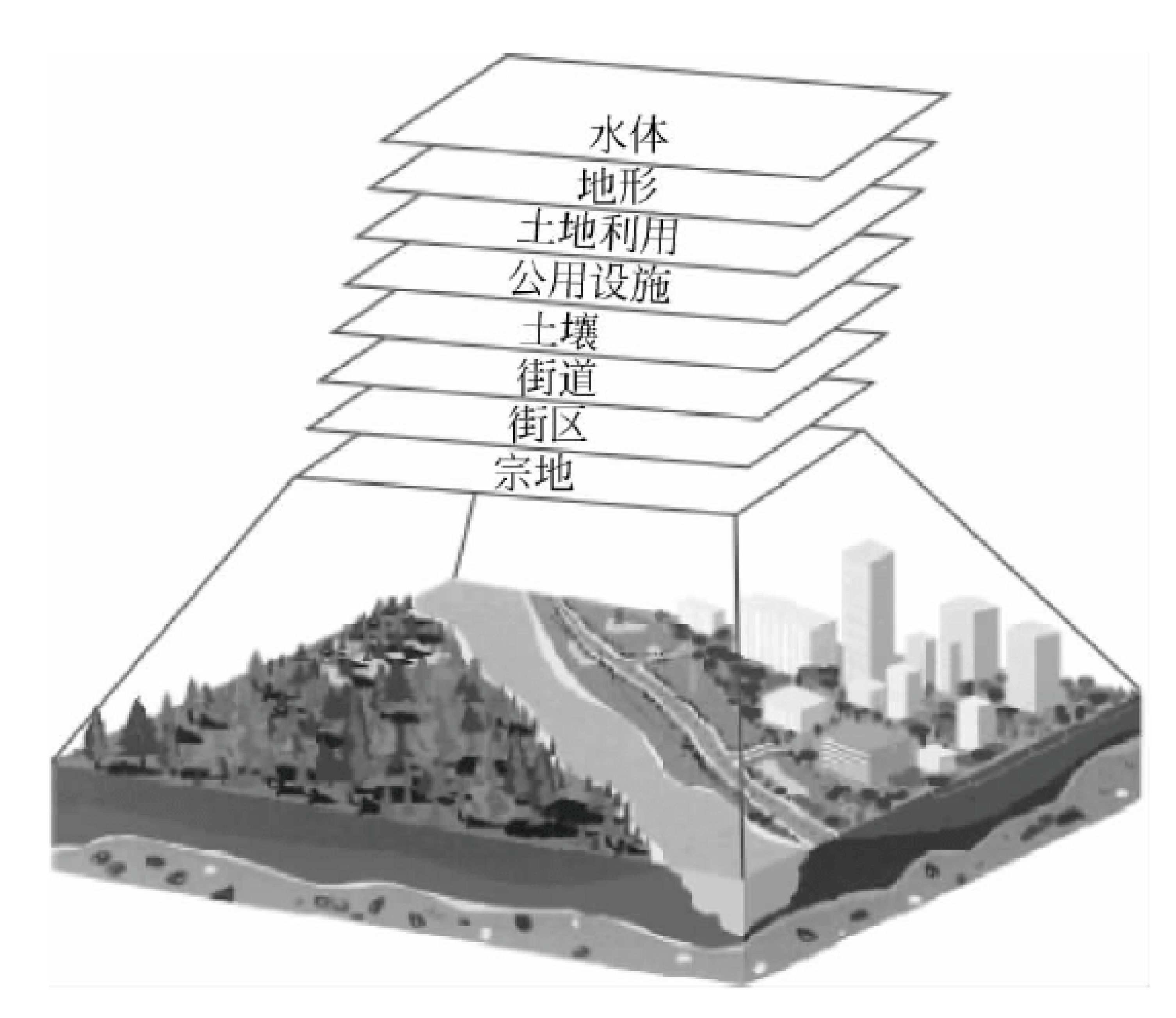


图 6-7　表示模型[19]

立空间分析模型的基本步骤，在课堂练习中，我们会依照这些基本步骤，表达并求解一个适宜性选址问题。

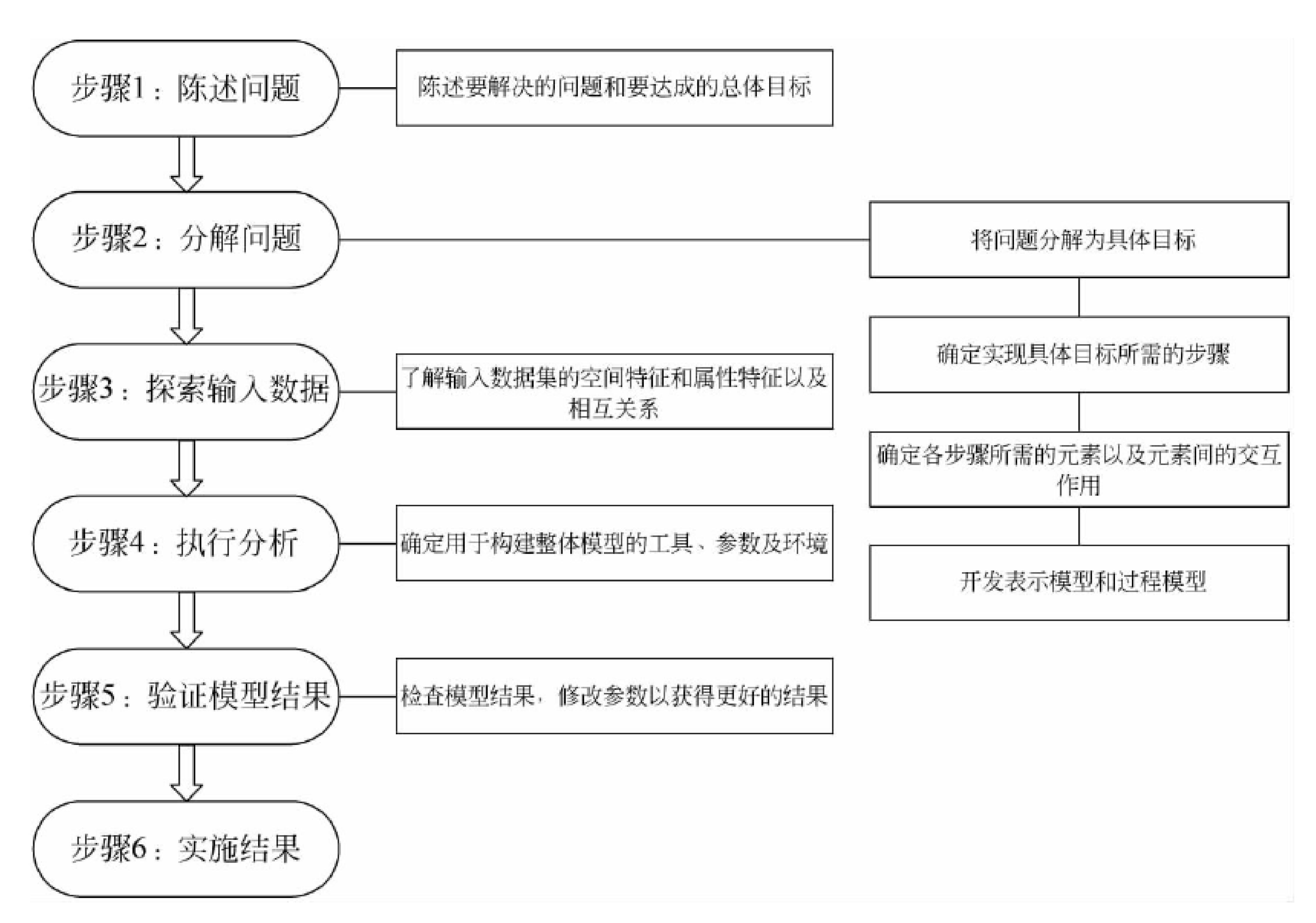


图 6-8　建立空间分析模型的基本步骤

5. 地理处理环境

在执行地理处理工具，尤其是模型工具和脚本工具时，了解当前使用的环境设置非常重要。地理处理环境包括设置工作空间、输出坐标系、输出范围、XY 容差、像元大小、栅格掩模设置等，这些环境参数的设置会对工具的执行结果产生很大的影响，比如通过设置处理范围环境参数，能够限制工具在执行时仅使用所设置地图范围内的要素，工具输出的图层大小也仅限制在设置范围内[22]。

环境参数的设置不会直接出现在工具对话框中，也就是说环境参数是可以独立于工具设置的，工具会在运行时间询和使用这些环境参数，因此设置环境参数通常是执行地理

处理的任务的第一步。环境设置有四个级别,分别是:应用程序级别设置、工具级别设置、模型级别设置、模型流程级别设置。这四个级别的关系如图 6-9 所示。

应用程序级别设置是最底层的总体的设置,是可供工具使用的系统范围内的默认设置,除非用户针对某个工具或模型做了额外的参数修改,否则应用程序级别设置的参数将传递给每个工具或模型。

工具环境设置是针对某个工具单独设置的环境参数,每个工具对话框都有一个"环境"按钮,用户可以单击进入,进行当前工具运行环境的设置,这种设置只会应用到当次的工具运行,这些参数不会被保存,因此对下一次该工具的运行或其他工具运行没有影响,如果用户不做额外的工具环境设置,则当前工具将直接继承应用程序级别设置,如果用户设置了工具环境,则会覆盖应用程序级别设置。

同理,模型环境设置只针对某个模型,不过模型环境参数会随着模型一起保存,因此被选中修改的模型环境参数会永久有效。未被修改的模型环境参数将直接继承应用程序级别设置或工具环境设置,具体从哪个级别继承取决于模型是以什么形式打开的,当模型通过模型构建器打开,将直接继承应用程序级别设置的环境参数,如果模型以工具对话框形式打开,则直接继承(它自己的)工具环境设置。

模型流程环境设置只针对模型中的某一流程,同样的,该环境参数也会被永久保存。

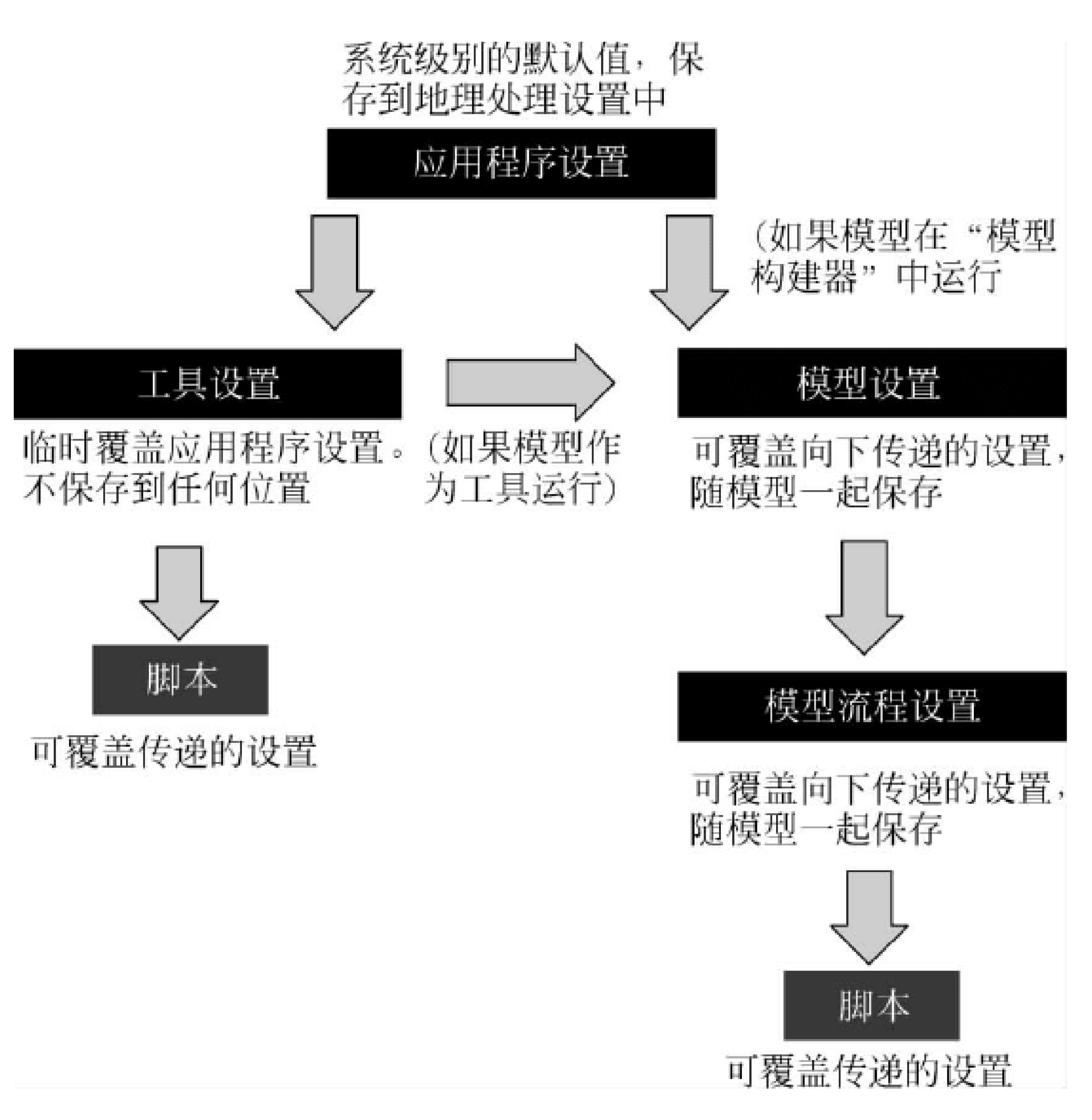


图 6-9　四个级别的环境参数设置及参数传递关系[22]

对于空间分析模型来说,环境设置主要考虑工作空间、处理范围、栅格分析以及栅格存储四项内容。

工作空间包括当前工作空间和临时工作空间,由于一个空间分析模型往往涉及多个分析工具,中间过程会输出多个栅格数据,最好建立一个临时地理数据库存放中间数据。

处理范围参数包括输出范围和捕捉栅格,输出范围控制空间分析工具要处理的数据范围以及输出的数据范围,该范围只能是矩形。捕捉栅格则可以确保输出栅格与输入栅格的像元对齐。

栅格分析参数包括像元大小和掩模。像元大小控制了输出栅格的空间分辨率，如前所述，默认的设置为输入栅格数据集的最大像元大小，也就是最粗的空间分辨率，如果用户设置了一个比输入栅格更精细的像元大小时，空间分析模块会采用最邻近重采样法对像元进行插值，不过此方法并不会提高输出结果的精度。掩模参数使得空间分析工具执行过程中不会考虑掩模外的输入像元，这些像元在输出栅格中将会被分配 NoData 值，掩模参数和输出范围参数有些类似，不同的在于掩模参数可以设置任意形状，另外输出范围的设置会使得输出栅格的范围小于输入栅格的范围，而通过掩模参数设置，输出栅格的范围与输入栅格范围相同，只不过掩模外的像元都是无效值。

与空间分析相关的栅格存储参数包括压缩参数。压缩参数只适用于数据类型为整型的输出栅格。

6. 影像分类

影像分类是指从多波段栅格数据中提取信息类的过程，比如根据卫星影像分类得到土地利用类型信息。根据分类过程中人员与计算机的交互情况，影像分类可以分为监督分类和非监督分类两种[10]。监督分类是依据训练样本进行分类的方法，用户通过目视判断或实地调查，对卫星影像上典型样区的地物类别进行区分，并选取一定数量的训练样本，计算机利用从训练样本中获得的光谱特征对影像进行分类。非监督分类则无需分析人员介入，通过在多波段影像中查找相似光谱群，提取特征光谱信息并进行统计分类。空间分析模块提供了一套多元分析工具集，用于执行影像分类。由于分类过程涉及多个步骤，为方便用户，ArcGIS 开发了影像分类工具条，用户可以通过该工具条的指引，完成数据分析、训练样本创建、质量分析、执行分类、结果评估等过程。

ArcGIS 中的影像分类工作流如图 6-10 所示[19]，其中涉及了三种分类工具，分别是交

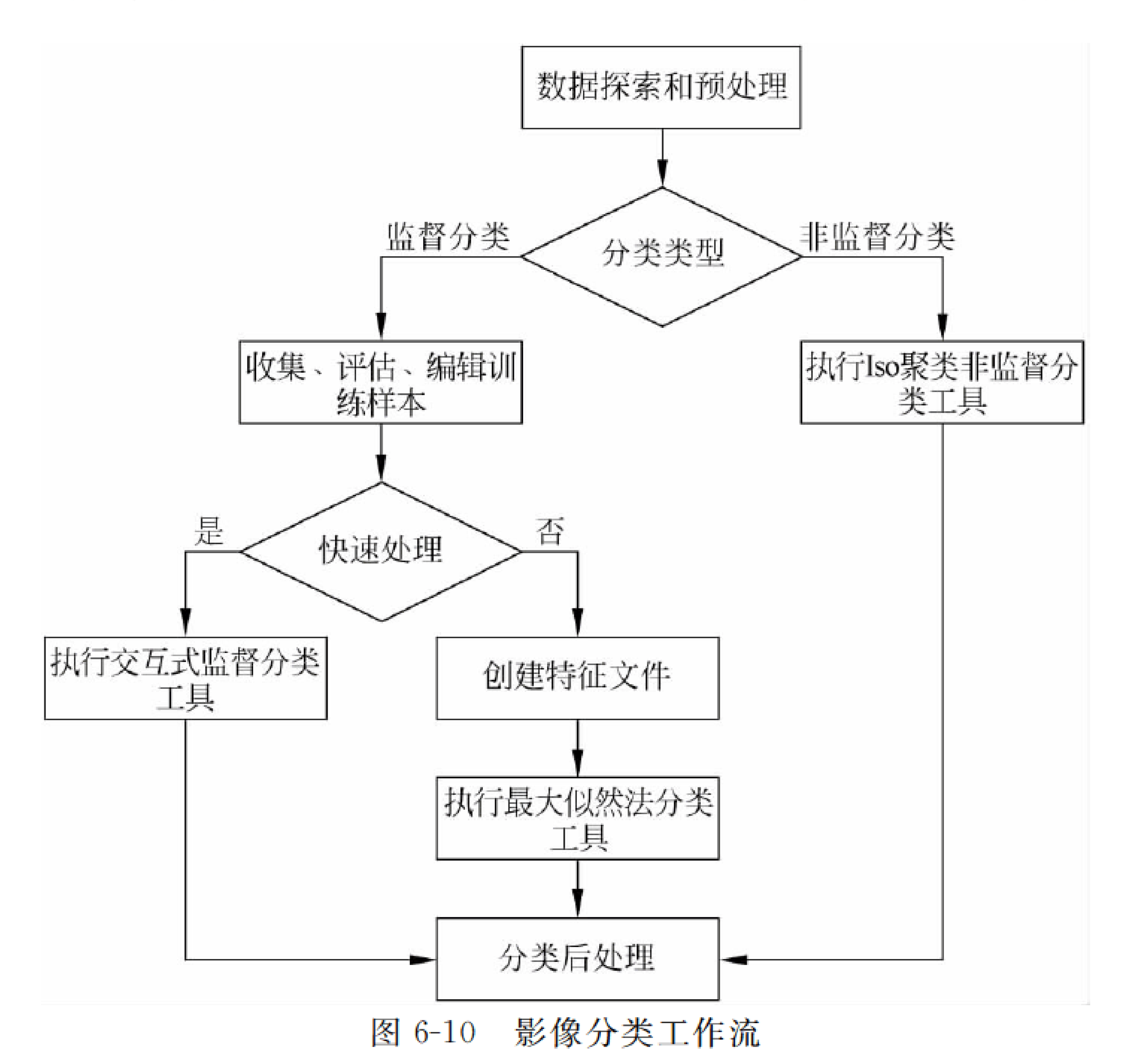


图 6-10　影像分类工作流

互式监督分类工具、最大似然法分类工具和 Iso 聚类非监督分类工具，前两种适用于监督分类，交互式监督分类工具内部调用的是使用默认参数的最大似然法分类工具，所以两者本质是相同的，区别只在于是否要显式创建特征文件，以及是否要修改最大似然法参数，使用交互式监督分类工具能够加快最大似然法分类过程。

执行影像分类后得到的栅格数据，不可避免地会存在很多误分类的孤立像素或者过于细小的区域，会给用户一种杂乱的、噪声很大的直观感受。因此影像分类工作流最后一步——分类后处理必不可少，空间分析模块的制图综合工具集提供了执行分类后处理的必要工具。影像分类后处理前后对比如图 6-11 所示，后处理的主要步骤以及相关工具如图 6-12 所示。

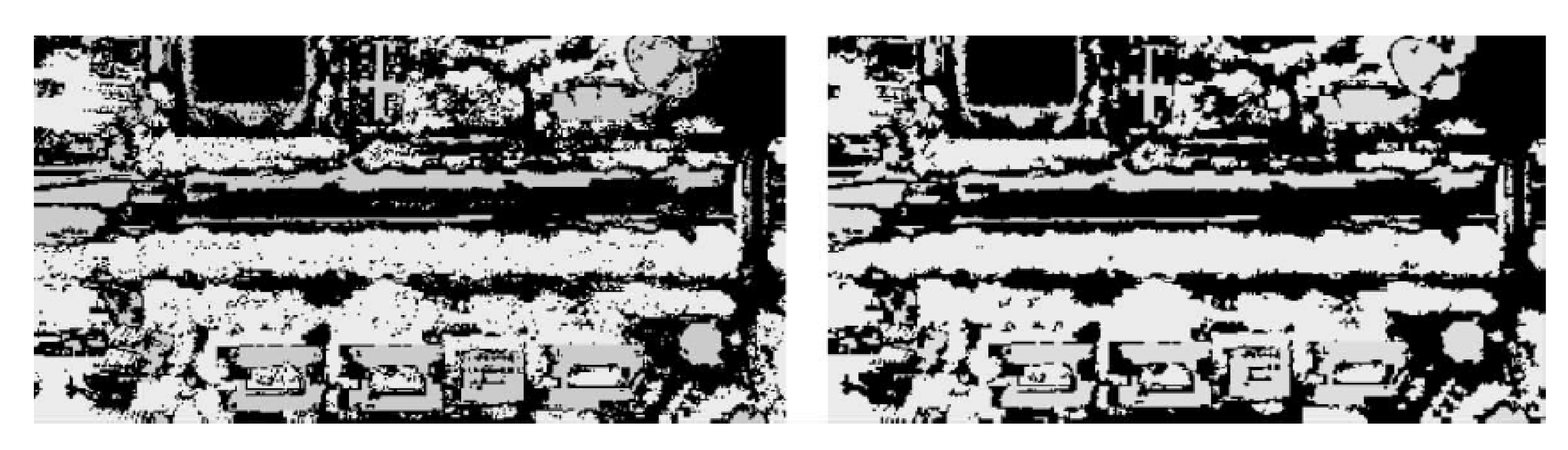


图 6-11　影像分类后处理前后对比

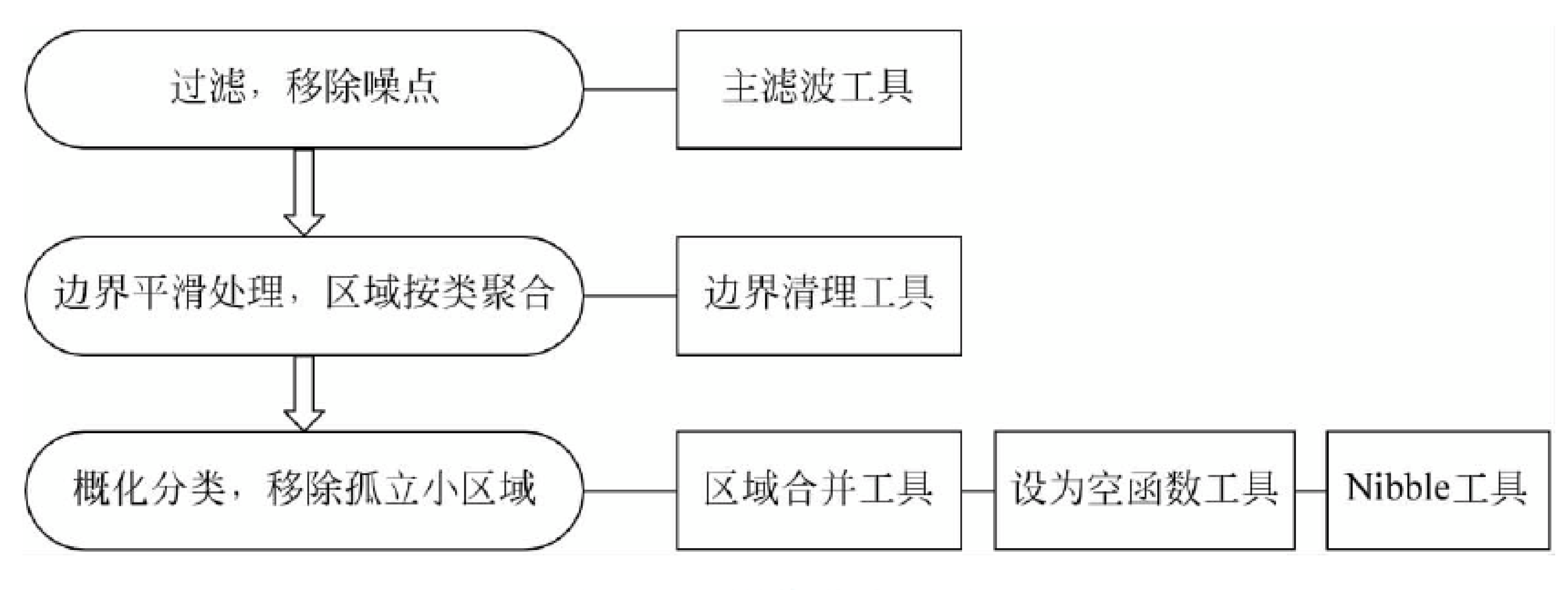


图 6-12　影像分类后处理

五、实验步骤

利用 ArcGIS 空间分析模块，依据预备知识 3 中的空间分析工作流，为小镇计划新建的学校选择一个最适宜的地址。

1. 打开 ArcMap，启动空间分析模块，打开空间分析工具条

空间分析工具条如图 6-13 所示，列表框中列出了 ArcMap 内容列表中的栅格图层，并提供了两个交互式工具。等值线工具能够在单波段栅格数据上的特定位置创建等值线，利用这个工具能够方便地画出等高线、等温线、等压线等，在等值线上单击右键还能够



图 6-13　空间分析工具条

查看其属性，获取该线对应的值。如图 6-14 所示，利用等值线工具在高程数据图层“elevation”上创建系列等值线，并查阅得知其中某条等值线代表了 852.650m 的高度值。

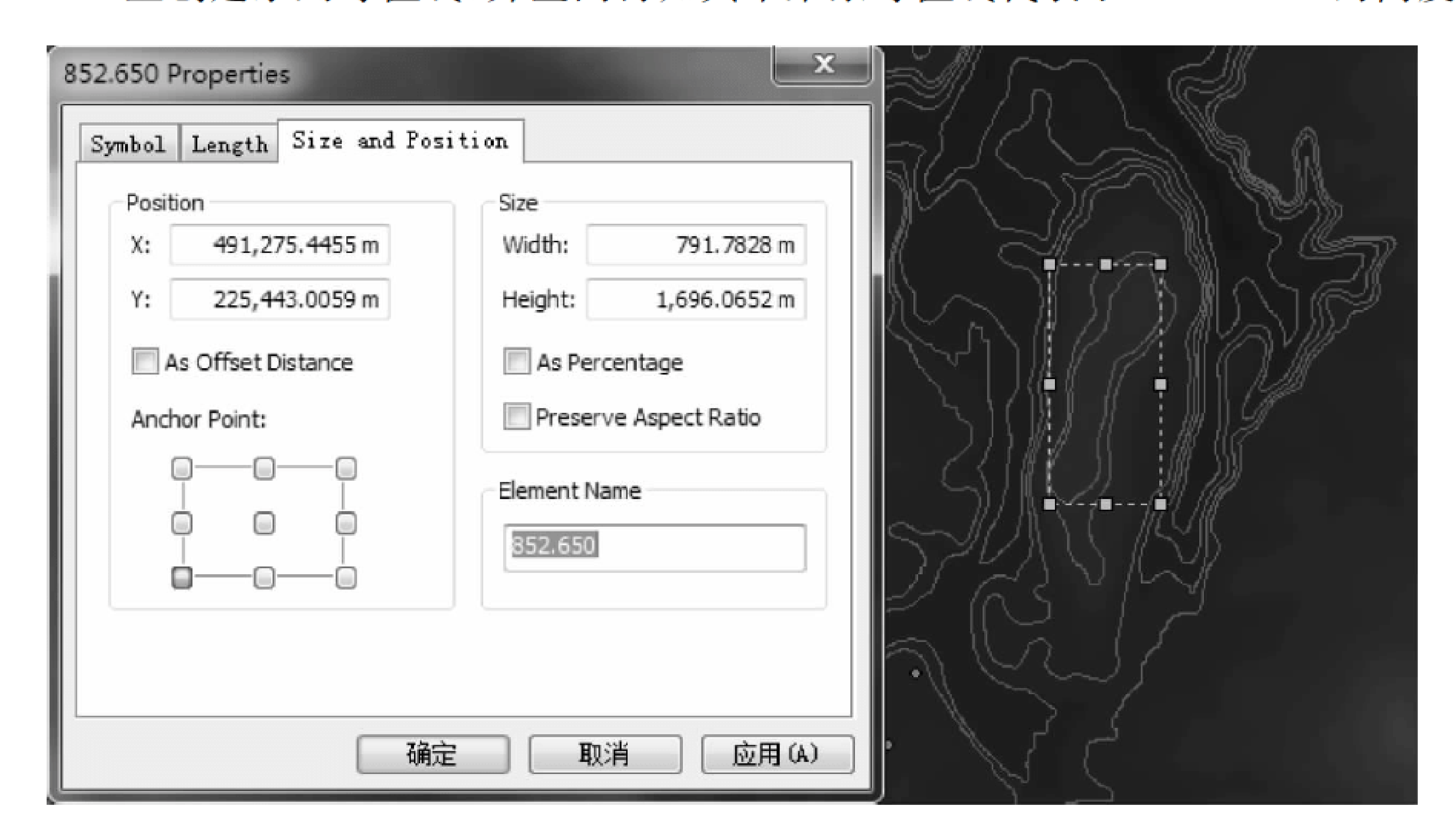


图 6-14　等值线及其属性

直方图工具能够对列表框中选中的栅格图层的某种属性进行统计分析，比如对土地利用类型数据“landuse”图层进行统计，如图 6-15 所示，可以直观看出森林(Forest)面积远大于其他土地类型。用户可以在直方图上单击右键，打开属性对话框，修改数据图层或者 X、Y 轴的定义。

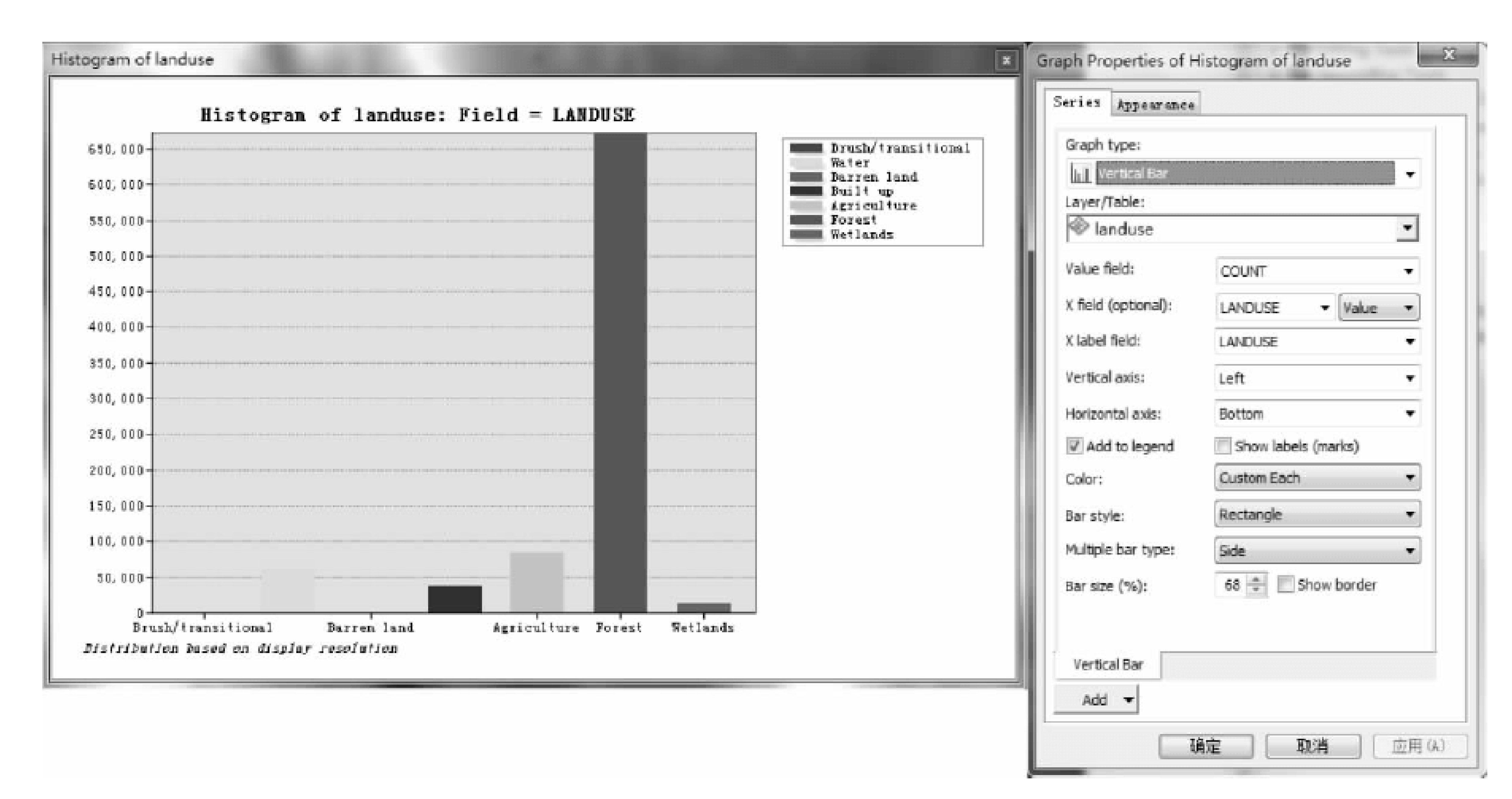


图 6-15　直方图统计及其属性

2. 在 ArcToolBox 窗口展开空间分析工具集

3. 预览输入数据

打开 Spatial Analyst 文件夹中的 Site Analysis. mxd 文件，该文件提供了某镇的高程数据、土地利用类型数据、路网数据以及学校和娱乐场所分布数据，通过这些数据，解决新学校选址问题。

4. 建立临时文件地理数据库 Scratch. gdb,存放过程文件

本实验提示 1：空间分析过程中会产生很多过程文件，其中绝大多数都是栅格文件，建立临时文件夹能够有效地管理过程文件。

5. 设置模型环境

（1）在 stowe. gdb 中新建工具箱，在该工具箱中新建模型，右键单击模型，点选“Edit（编辑）”，打开模型构建器。

（2）设置该模型的地理处理环境，包括当前工作空间、临时工作空间、处理范围、像元大小等。

用户可以设置应用程序级别的地理处理环境，也可以设置模型级别的地理处理环境，在本练习中效果相同。

本实验提示 2：如预备知识所述，虽然在本练习中设置应用程序级别或模型级别的地理处理环境效果相同，但是模型级别的地理处理环境会随模型保存，当模型被移动或被复制时，该环境参数会随模型而移动或复制，而应用程序级别的地理处理环境只与本机应用程序有关。

要设置应用程序级别的地理处理环境，请单击 ArcMap 菜单栏“地理处理（GeoProcessing）|环境（Environments）”；要设置模型级别的地理处理环境，请单击模型菜单栏“模型（Model）|模型属性（Model Properties）”，打开模型属性对话框，选择“环境（Environments）”选项卡。此处以模型级别地理处理环境为例，如图 6-16 和 6-17 所示，在环境选项卡中勾选“处理范围（Processing Extent）|范围（Extent）”、“栅格分析（Raster

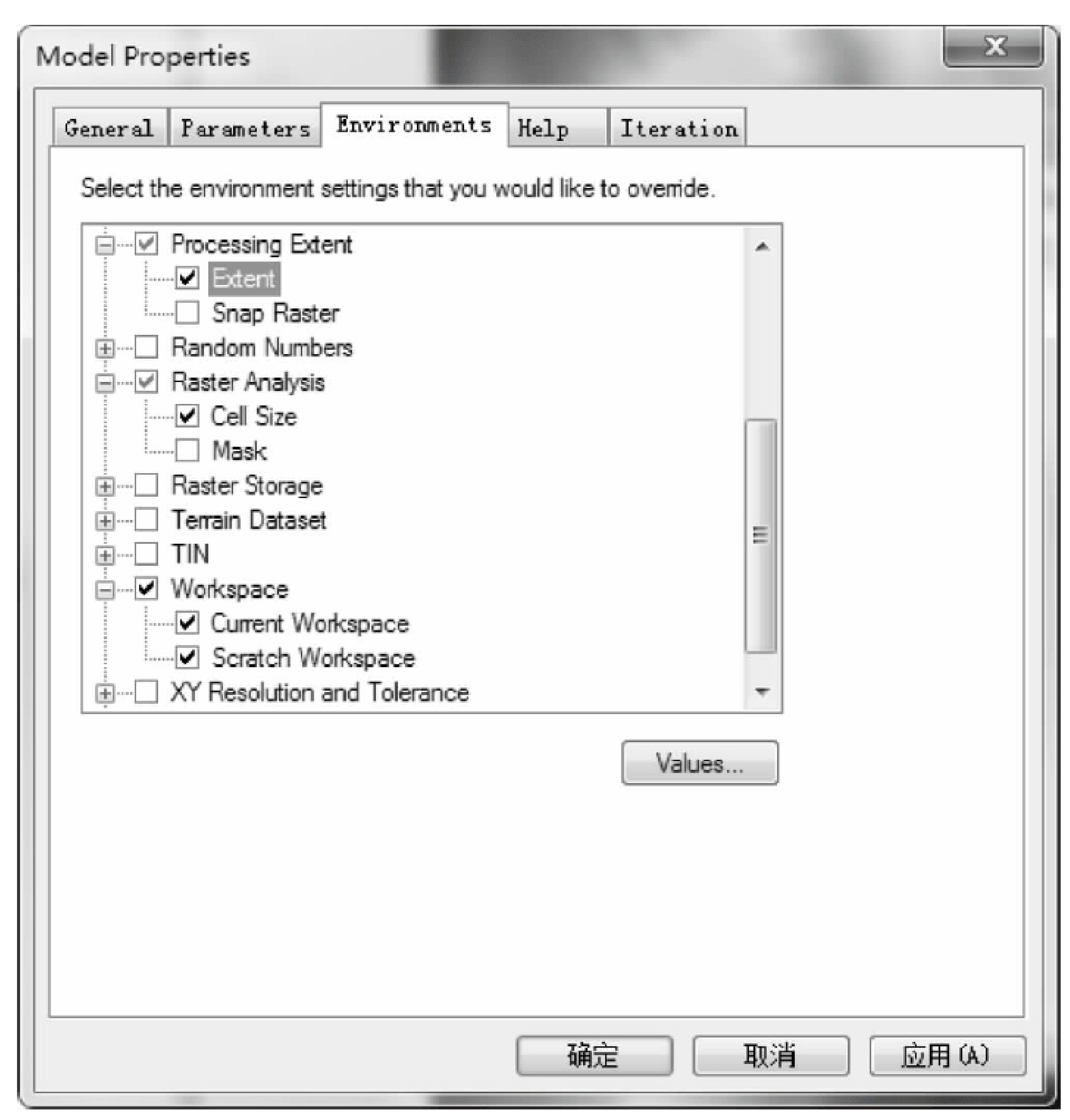


图 6-16　模型参数的环境选项卡

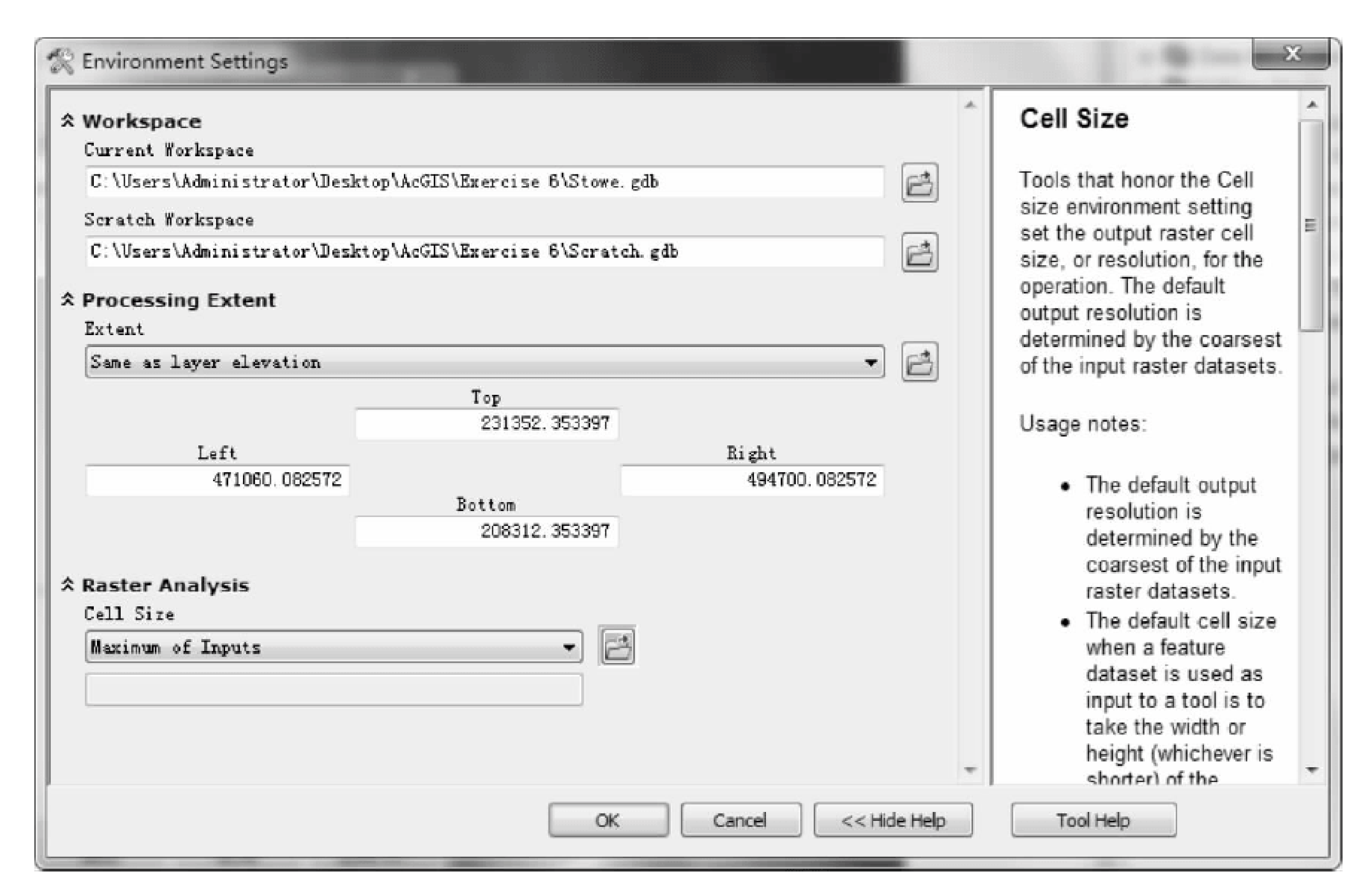


图 6-17　环境参数值设置对话框

Analysis)|像元大小(Cell Size)”,以及“工作空间(Workspace)”。单击右下角的“值(Values)”按钮,打开环境参数值设置对话框,设置 Stowe.gdb 为当前工作空间,Scratch.gdb 为临时工作空间。本练习大部分中间数据是从高程数据派生出来的,因此此处设置处理范围与高程数据图层 elevation 一致,设置像元大小时,用户可尝试选择“与 elevation 图层相同”和“与 landuse 图层相同”,可以发现 elevation 图层像元大小是 30m,landuse 图层像元大小是 25m,预备知识中已经讲过像元大小的知识,因此如没有特殊需求,此处选择与 elevation 图层相同。

6. 按照空间分析工作流中阐述的步骤,分析、分解该问题,利用模型构建器构建整体模型

空间分析工作流:陈述问题→分解问题→探索输入数据集→执行分析→验证模型结果→实施结果 。

(1) 陈述问题。该空间分析问题的目标,是为新学校选择适宜的修建地址,可以预计模型最终应输出一张适宜性地图,上面标示出适宜的候选地址,以及各个地址的适宜程度。

(2) 分解问题与探索输入数据集。这两个步骤是相辅相成的,分解问题的过程中,要了解有哪些资源可用,Stowe.gdb 中提供了高程数据 elevation、土地利用类型数据 landuse、小镇现有学校的数据 schools、小镇道路数据 roads,以及小镇休闲活动场所数据 rec_sites。基于这些输入数据,衡量什么样的区域最适合建设新学校。可以从以下几个角度考虑:

① 学校应该修建在相对平坦的地区,坡度很大的地区则不适合;

② 哪些土地利用类型适合修建学校,比如湖泊区域不适合,荒地、农业用地等则较适合;

③ 新建的学校应该距离现有的学校较远,照顾缺乏教育资源的地区;

④ 新建学校最好离休闲活动场所较近，新迁入小镇的家庭偏向于在这类场所周围居住。

根据这个分析，可以画出解决问题的基本思路，如图 6-18 所示。

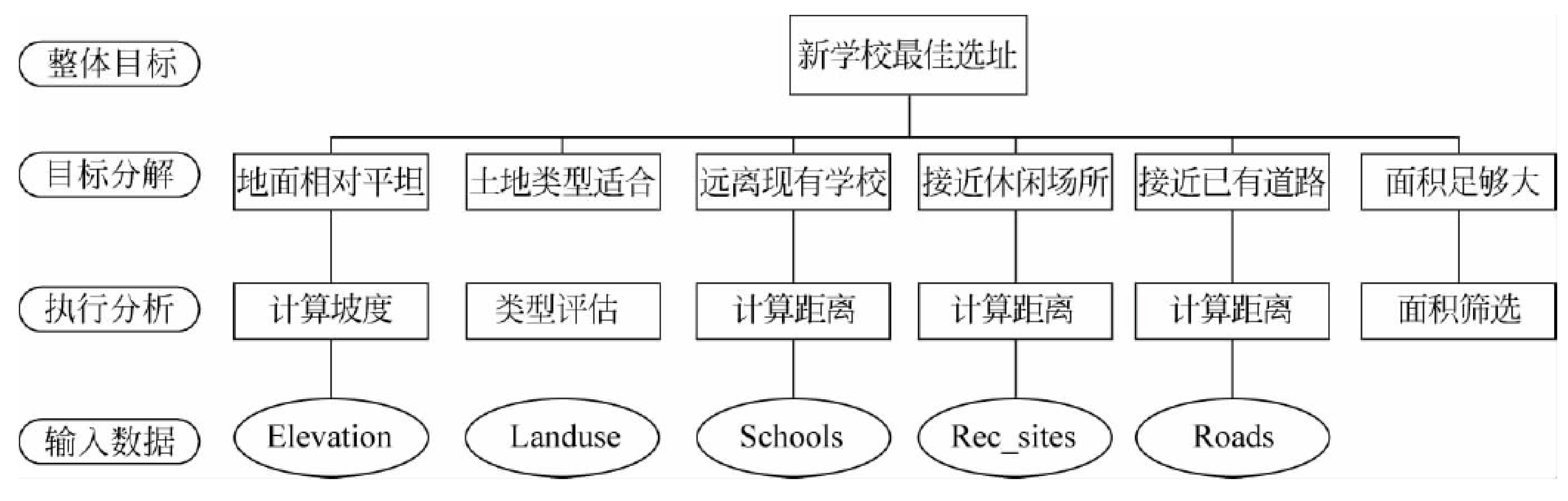


图 6-18　解决选址问题的基本思路

(3) 执行分析。根据上述的思路，充分利用空间分析地理处理工具，建立选址问题的完整模型。

① 派生数据。从高程数据派生坡度数据，从学校、休闲场所数据派生距现有学校、休闲场所的欧式距离数据(距离分析工具集中的欧式距离工具)。

本实验提示 3：坡度工具(slope)位于 ArcToolbox 空间分析工具箱表面分析(suface)工具集。

本实验提示 4：欧式距离工具(Euclidean Distance)位于 ArcToolbox 空间分析工具箱距离分析(Distance)工具集。

构建模型如图 6-19 所示。每一个工具都要进行参数设置，至少需要设置好输入输出变量，注意由于之前设置了临时工作空间，因此模型会默认将所有工具的输出都放在 scratch. gdb 中，可以保留该设置，直至得到最终结果后，再将最终结果存放或复制到当前工作空间 stowe. gdb 中。

本实验提示 5：在模型构建器中，方框表示工具，椭圆表示输入、输出变量，未定义的工具和变量是白色的，正确定义后的工具是黄色的，输入变量是蓝色的，输出变量是绿色的。

本实验提示 6：图 6-19 中的自动布局和全图视图工具在构建模型过程中常常使用，使得各种工具和变量排布更加整齐，模型也更加美观。

本实验提示 7：单击模型构建器 Model 菜单，可以看到有“运行(Run)”和“运行全部模型(Run Entire Model)”两个操作，其中“运行(Run)”与工具栏上的“运行(Run)”工具作用相同，该工具只会执行上一次运行操作之后新添加至模型的部分，如果对模型进行了参数修改，需要全部重新运行的话，应使用菜单栏上的“运行全部模型(Run Entire Model)”操作。

右键单击输出的三个栅格数据(三个绿色的椭圆)，选择“添加到显示(Add to display)”。单击运行按钮 ▶。运行后地图上将显示坡度数据、距离学校的欧式距离数

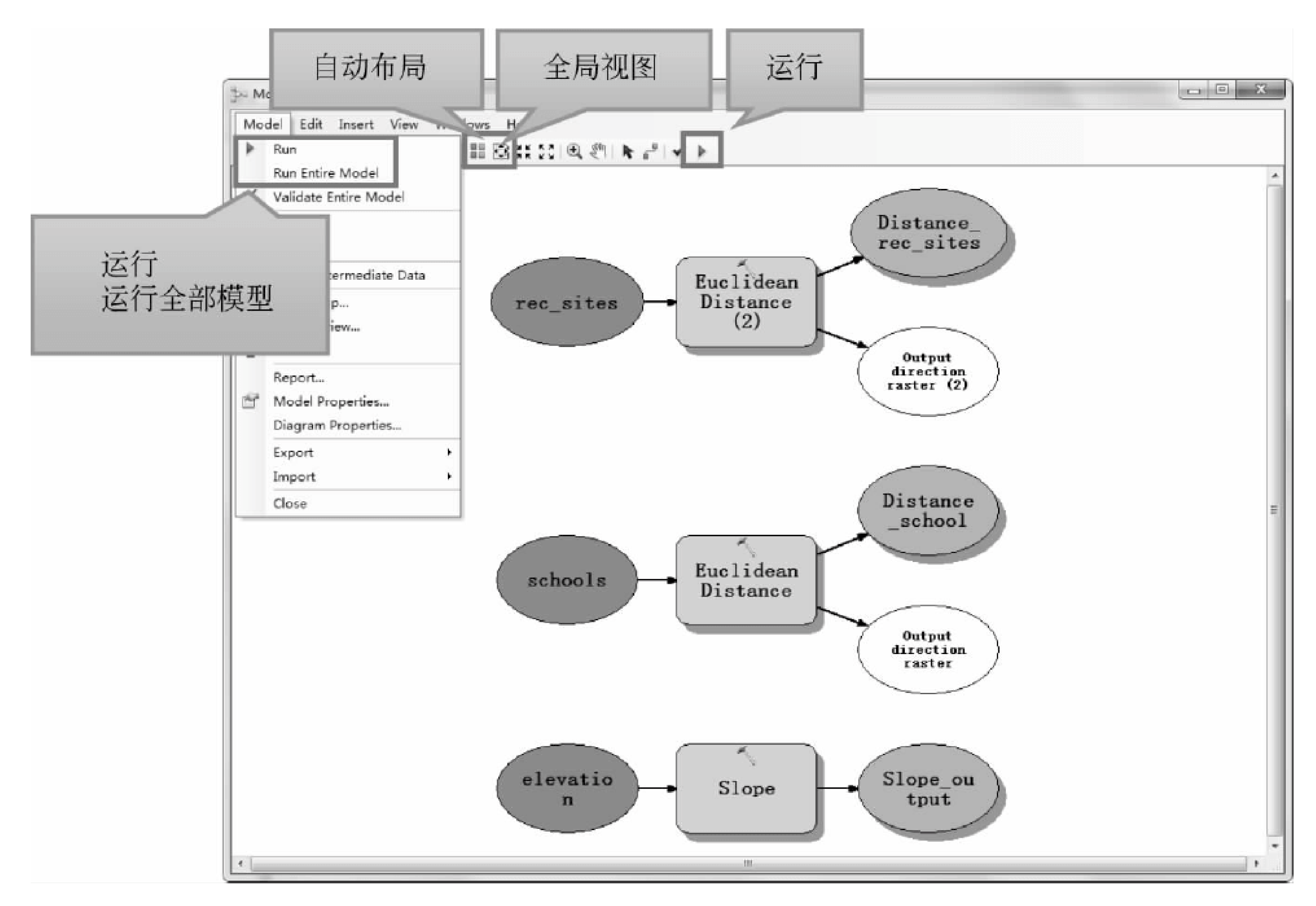


图 6-19　派生数据模型

据、距离休闲场所的欧式距离数据。结合内容列表中显示的符号系统，观察三个输出的栅格图层。

② 重分类数据。以相等间隔，按 1～10 的度量级重分类上述派生数据，让坡度缓、距离休闲场所近、距离学校远的具有更高等级，为数据合并作准备。

本实验提示 8：重分类工具(Reclassify)位于 ArcToolbox 空间分析工具箱重分类(Reclass)工具集。

一方面距离和坡度的量纲不同，另一方面，对于决策者来说，也不需要知道具体的坡度和具体的距离是多少，因此将上述三个数据进行分级，统一用级别来表示适宜度。

构建模型如图 6-20 所示。重分类工具除了要设置输入变量和重分类的字段之外，还需要指定重分类的方法。以对从休闲场所要素数据派生出来的欧式距离 Distance_rec_sites 进行重分类为例，双击重分类工具，打开参数对话框，如图 6-21 所示。指定输入栅格数据为 Distance_rec_sites，重分类的字段为“值(Value)”字段，该字段的值显示在“Old Values”列表中，单击右侧“分类(Classify)”按钮，打开“Classification”对话框，在“方法(Method)”中选择“等分(Equal Interval)”，并将“级别(Class)”设为 10。单击“确定(OK)”之后，可以看到“New Value”列变成了 1—10，单击下面的“对新值取反(Reverse New Value)”，确保距离近的具有更高的适宜度级别。

同理将坡度数据 Slope_output 和学校欧式距离数据 Distance_school 进行重分类。注意坡度小、距离学校远的位置应该获得更高的适宜度级别。单击运行并将输出添加至显示，在地图上将会显示坡度级别、距学校的距离级别、距休闲场所的距离级别三个图层，如图 6-22 所示。

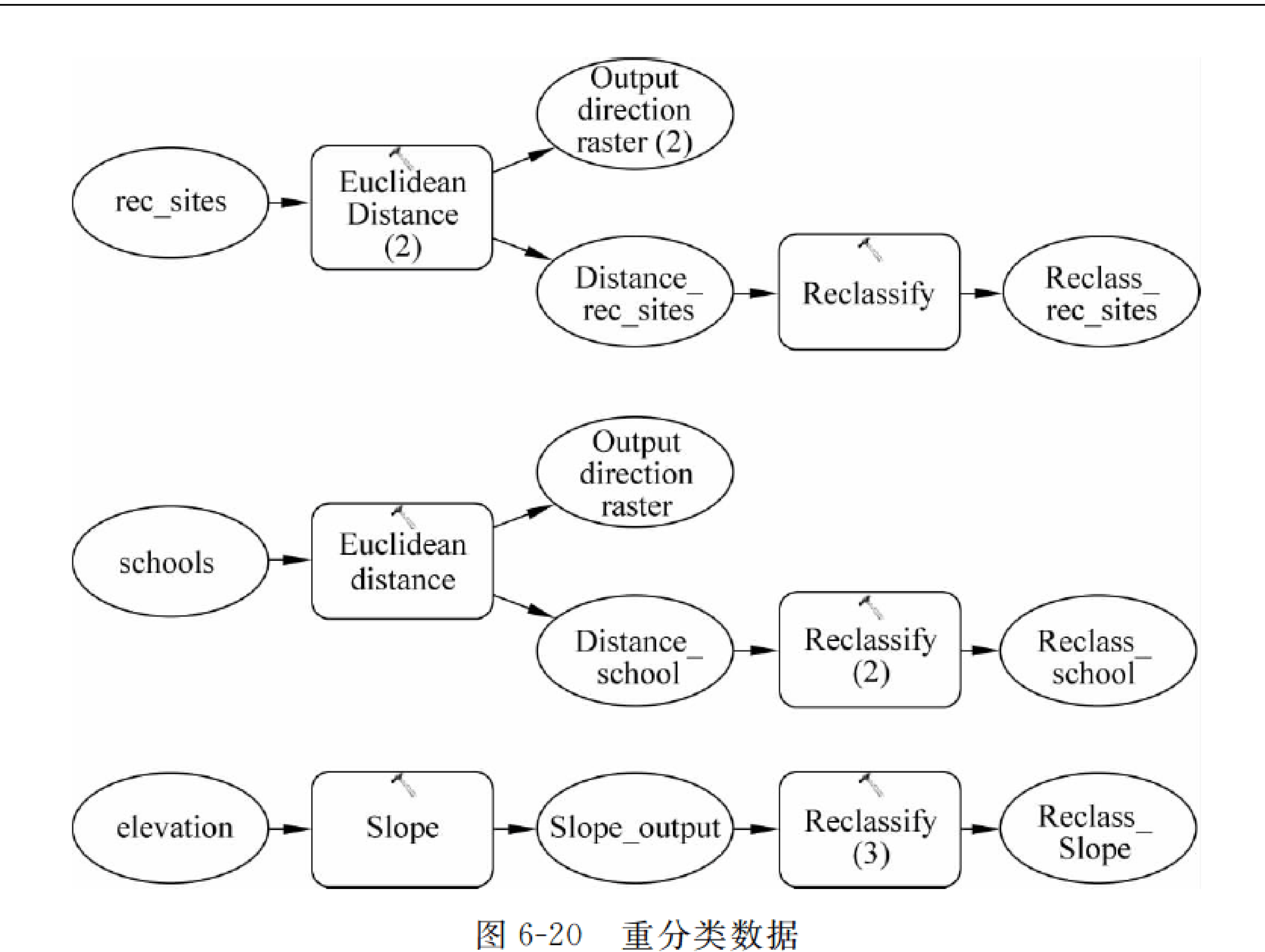


图 6-20　重分类数据

Reclassify
Input raster
Distance_rec_sites
Reclass field
Value
Reclassification

Old values	New values
0 - 1352.920215	10
1352.920215 - 2705.84043	9
2705.84043 - 4058.760645	8
4058.760645 - 5411.68085	7
5411.680859 - 6764.60107	6
6764.601074 - 8117.52128	5
8117.521289 - 9470.44150	4
9470.441504 - 10823.3617	3

Classify...　Unique　Add Entry　elete Entrie　Load...　Save...　Reverse New Values　Precision...
Output raster
C:\Users\Administrator\Desktop\AcGIS\Exercise 6\Scratch.gdb\Reclass_Dist1
Change missing values to NoData (optional)
OK　Cancel　Apply　<< Hide Help

Classification
Classification　Method: Equal Interval　Classes: 10
Data Exclusion　Exclusion...　Sampling...
Columns: 100　Show Std. Dev.　Show Mean
Classification Statistics
Count: 605184
Minimum: 0
Maximum: 13529.202148
Sum: 2631443648.01973
Mean: 4348.171214
Standard Deviation: 2878.309006
Break Values　%
1352.920215
2705.84043
4058.760645
5411.680859
6764.601074
8117.521289
9470.441504
10823.361719
12176.281934
13529.202148
Snap breaks to data values
OK　Cancel

图 6-21　重分类工具对话框

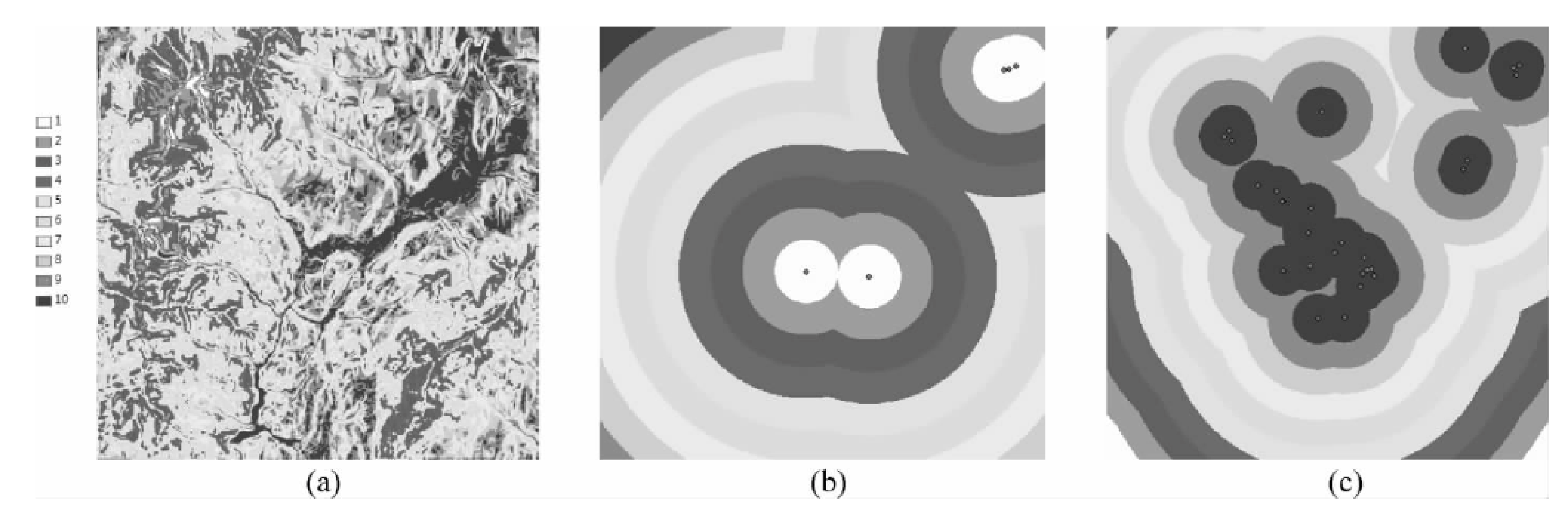


图 6-22　重分类的结果

（a）坡度重分类结果；（b）距学校距离重分类结果；（c）距休闲场所距离重分类结果

③ 合并数据。为坡度数据、距离数据以及土地类型数据设置合适的权重，执行加权叠加(叠加分析工具集中的加权叠加工具)，得到适宜性地图，考虑坡度太陡的位置不适合建设学校，考虑水域和湿地不适宜建设学校。

本实验提示 9：加权叠加工具(Weighted Overlay)位于 ArcToolbox 空间分析工具箱叠加分析(Overlay)工具集。

继续构建模型如图 6-23 所示。在加权叠加工具对话框(见图 6-24)中，单击“添加”按

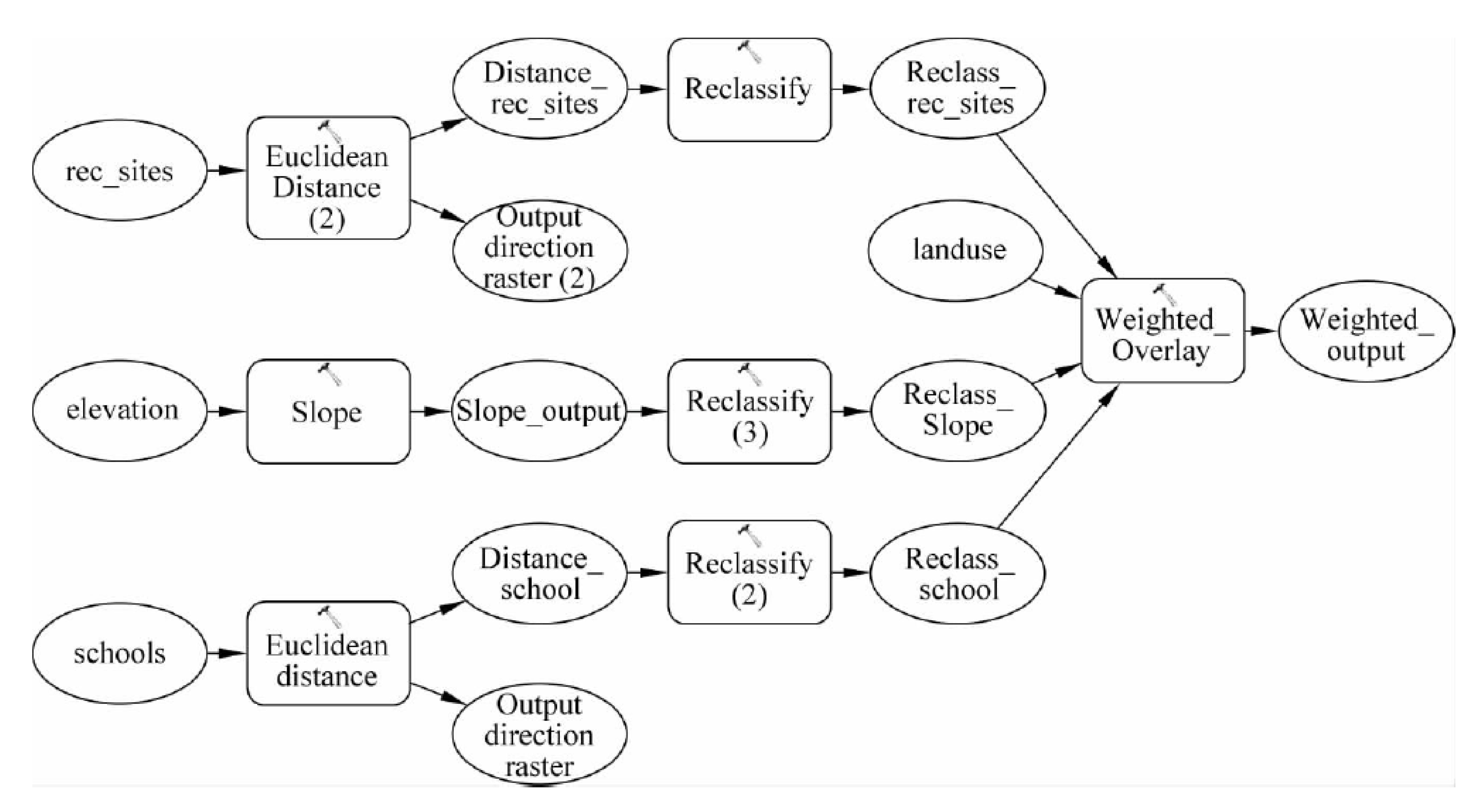


图 6-23　合并数据构建的模型

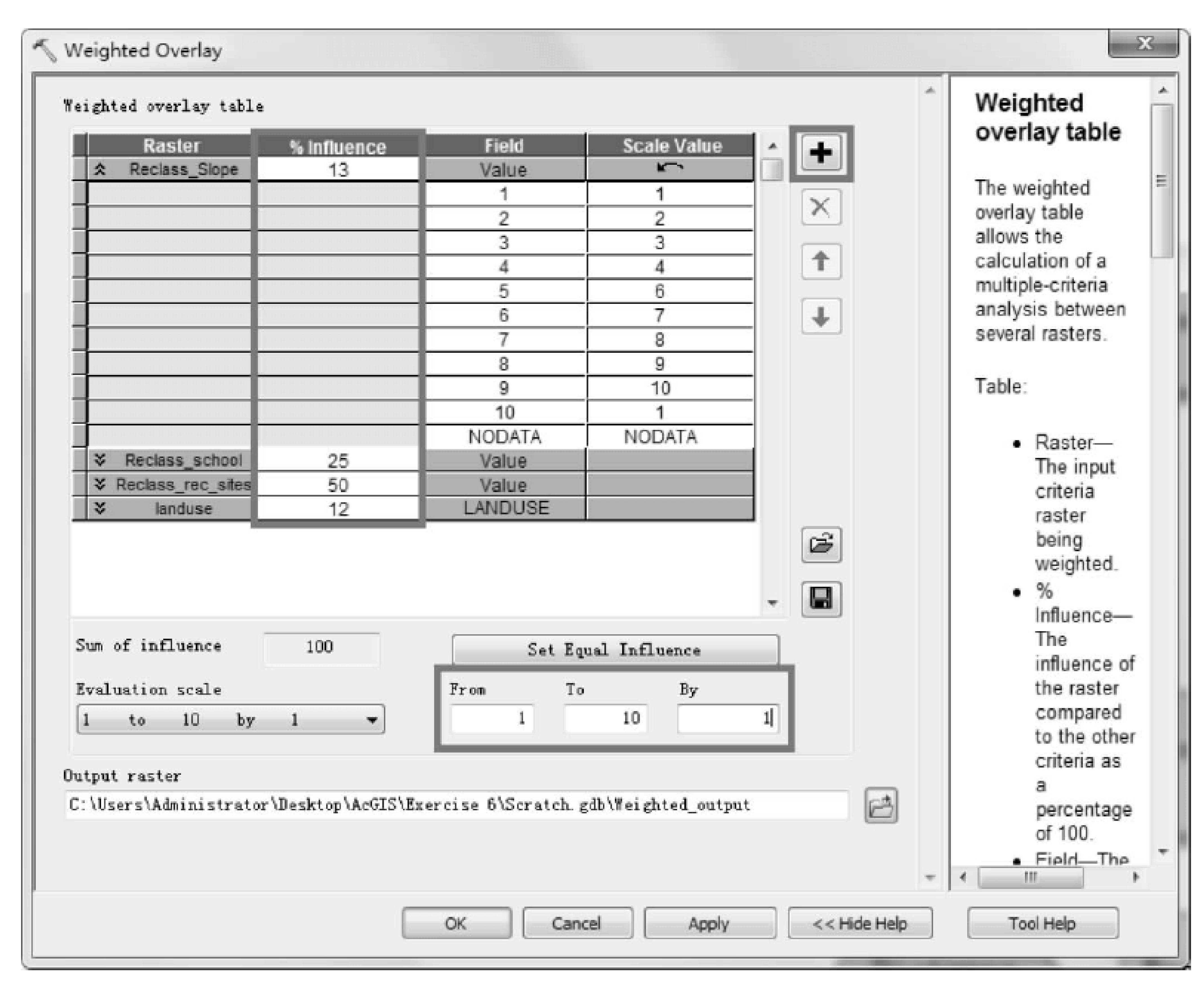


图 6-24　加权叠加工具对话框

钮，将重分类后的距离和坡度数据，以及土地利用类型数据添加至列表中，作为该工具的输入栅格图层。注意添加土地利用类型图层时，使用“landuse”字段作为输入字段。为四个输入数据确定权重，权重可由用户自行设定，此处假定分配如下：

土地利用类型：12%

重分类的坡度：13%

重分类的学校距离：25%

重分类的休闲场所距离：50%

考虑到重分类的数据是以 1 为步长，分成了 10 级，加权叠加后的数据也遵循这种分级标准，因此设置评估等级为“From 1 To 10 By 1”。单击“应用(Apply)”，应用以上设置。

接下来要考量每个输入数据的评估等级值是否合适。对于重分类的坡度数据，过陡的坡度是不适合建造校舍的，因此将级别 1～3 设为“受限(Restricted)”，可以在重分类步骤中查到 1～3 级别代表了 52.17～74.56 范围内的坡度(见图 6-25)。

Raster	% Influence	Field	Scale Value
Reclass_Slope	13	Value	
		1	Restricted
		2	Restricted
		3	Restricted
		4	4
		5	5
		6	6
		7	7
		8	8
		9	9
		10	10
		NODATA	NODATA
Reclass_school	25	Value	
Reclass_rec_sites	50	Value	
landuse	12	LANDUSE	

图 6-25　坡度数据的评估等级

对于重分类的距离数据，保持原有的分级(见图 6-26)。

Raster	% Influence	Field	Scale Value
Reclass_Slope	13	Value	
Reclass_school	25	Value	
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4
		5	5
		6	6
		7	7
		8	8
		9	9
		10	10
		NODATA	NODATA
Reclass_rec_sites	50	Value	
landuse	12	LANDUSE	

Raster	% Influence	Field	Scale Value
Reclass_Slope	13	Value	
Reclass_school	25	Value	
Reclass_rec_sites	50	Value	
		1	1
		2	2
		3	3
		4	4
		5	5
		6	6
		7	7
		8	8
		9	9
		10	10
		NODATA	NODATA
landuse	12	LANDUSE	

图 6-26　距离数据的评估等级

对于土地利用类型数据，由于该数据未进行重分类，使用的仍是原始数据，不过该原始数据本身并没有量纲，可以在加权叠加工具中重新调整。首先水域和湿地不适合建造校舍，设为“受限(Restricted)”。其次荒地和农业用地最适合用来建新学校，为其设置最

高的评估等级，剩余的三种土地利用类型，用户可根据自己的理解设定合适的等级（见图 6-27）。

Raster	% Influence	Field	Scale Value
Reclass_Slope	13	Value	
Reclass_school	25	Value	
Reclass_rec_sites	50	Value	
landuse	12	LANDUSE	
		Brush/transitional	5
		Water	Restricted
		Barren land	10
		Built up	3
		Agriculture	9
		Forest	4
		Wetlands	Restricted
		NODATA	NODATA

图 6-27　土地利用类型数据的评估等级

设置完成后单击“确定”，运行模型，将输出添加至显示。可见值为 9 的是适宜度最高的分区，如果在这个分区中能找到面积合适的区域，则该区域是最适合修建新学校的（见图 6-28）。

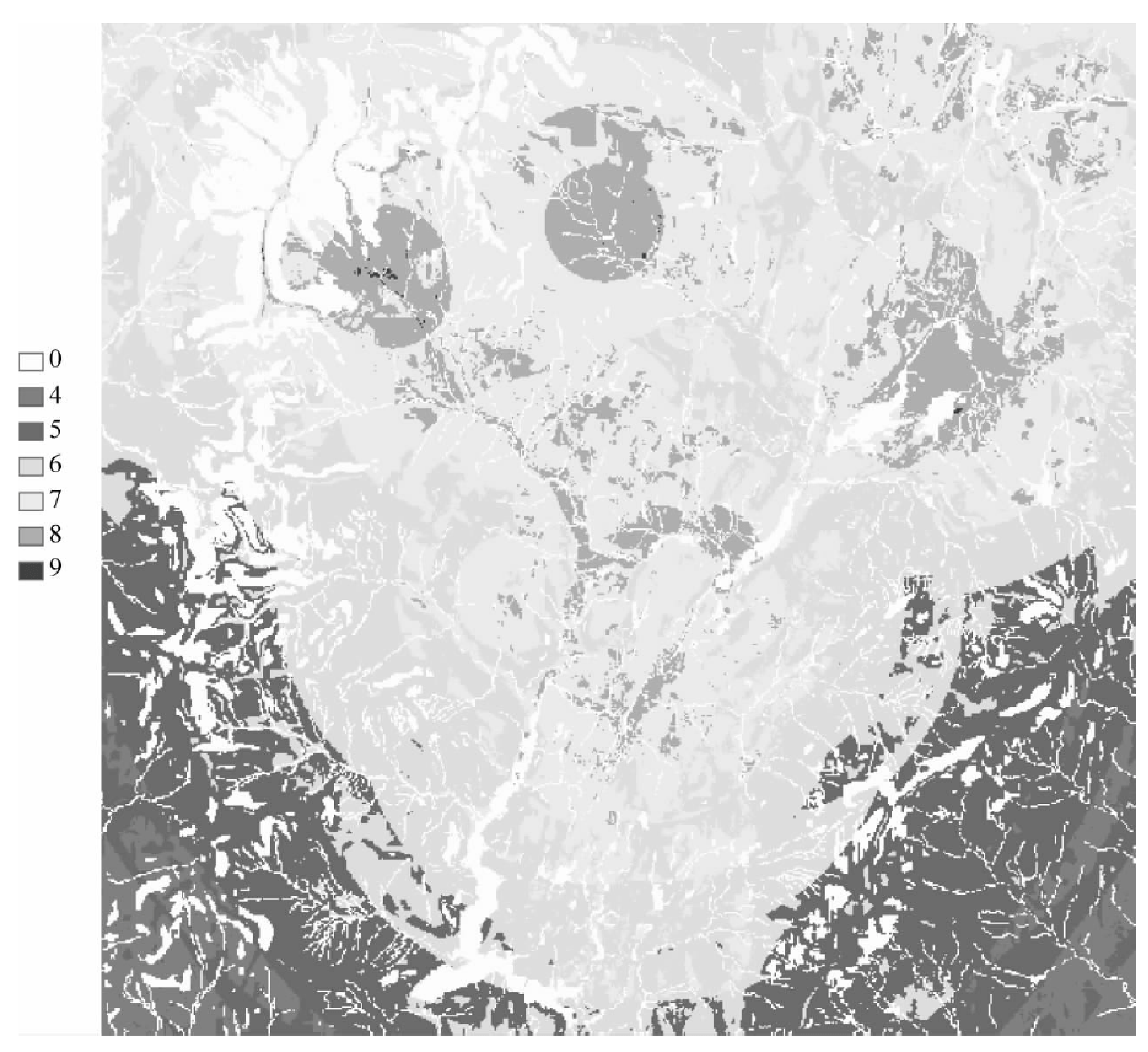


图 6-28　适宜度分区图

④ 使用条件工具提取适宜度为 9 的区域,使用众数滤波去除孤立微小单元

本实验提示 10:条件工具(Con)位于 ArcToolbox 空间分析工具箱条件分析(Conditional)工具集。

本实验提示 11:众数滤波工具(Majority Filter)位于 ArcToolbox 空间分析工具箱制图综合(Generalization)工具集。

继续构建模型如图 6-29 所示。在条件工具(见图 6-30)中设置值为 9 的像元保留原值,其余像元设为 NoData(默认设置)。由于前面设置了像元大小与 elevation 图层相同,每个像元代表 30m,对于一个学校来说,30m 的位置太小了,因此要将孤立的像元去掉,在众数滤波工具(见图 6-31)中设置搜索邻域为 8 个像元,也就是 3×3 的邻域。

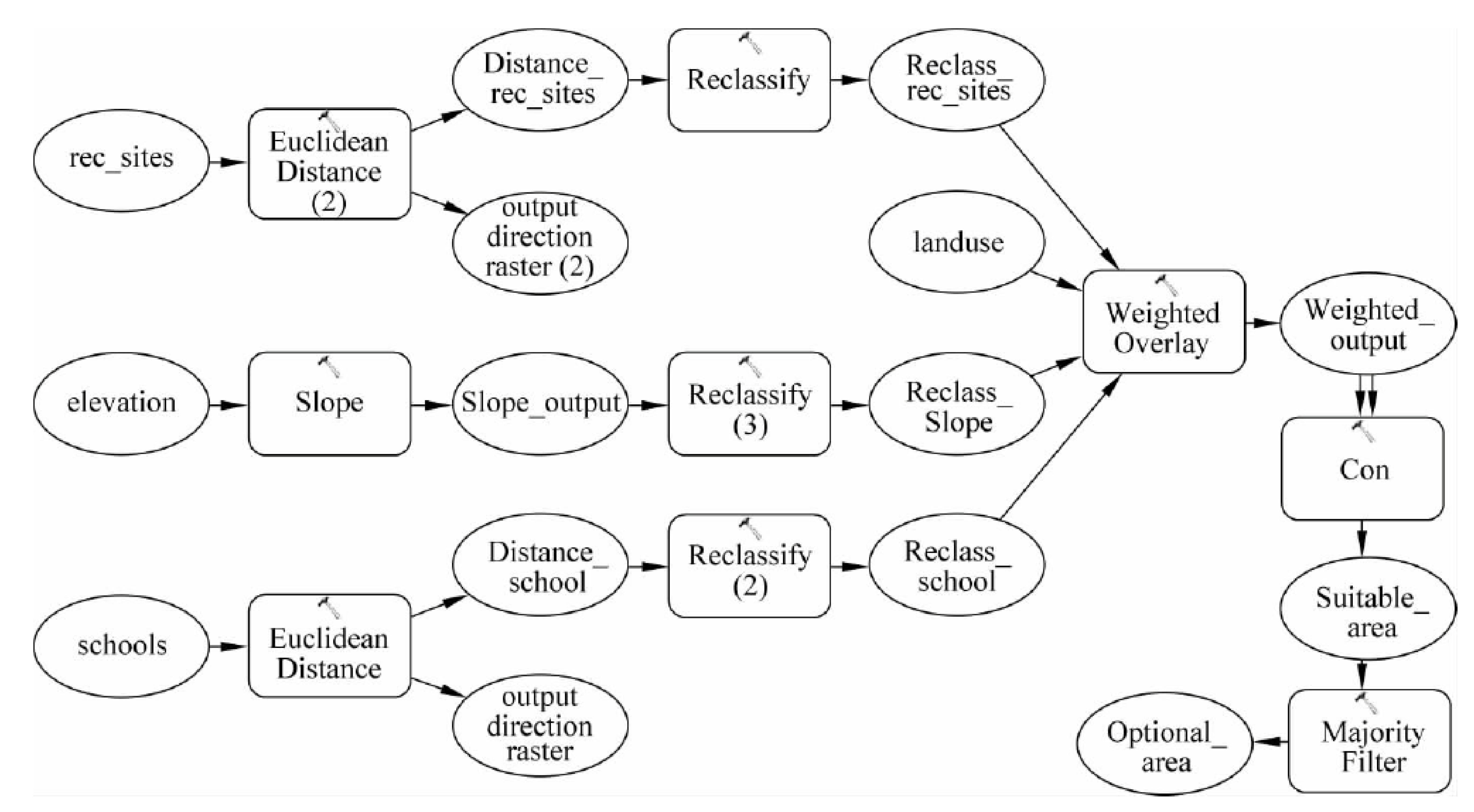


图 6-29　条件提取与众数滤波

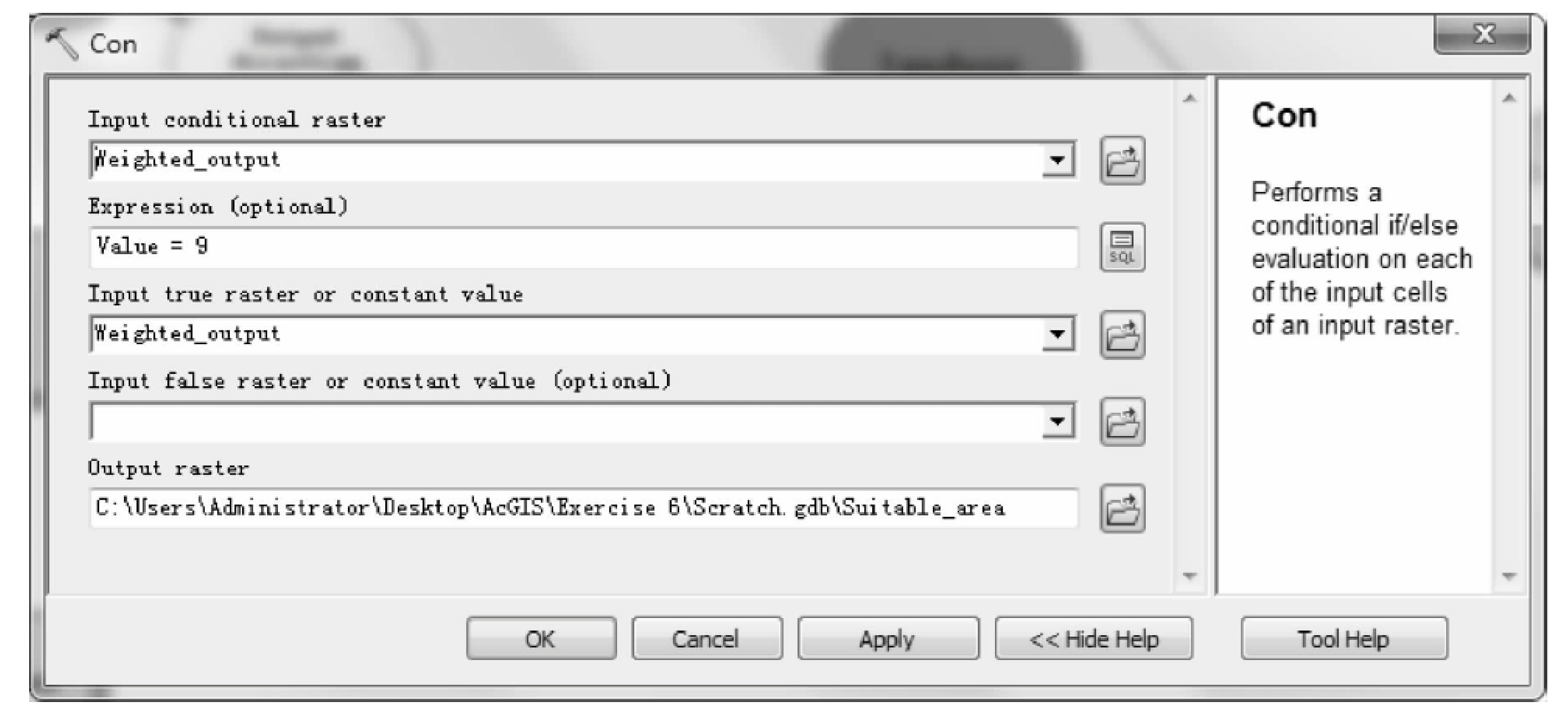


图 6-30　条件提取工具对话框

设置完成后运行模型,将输出添加至地图显示。

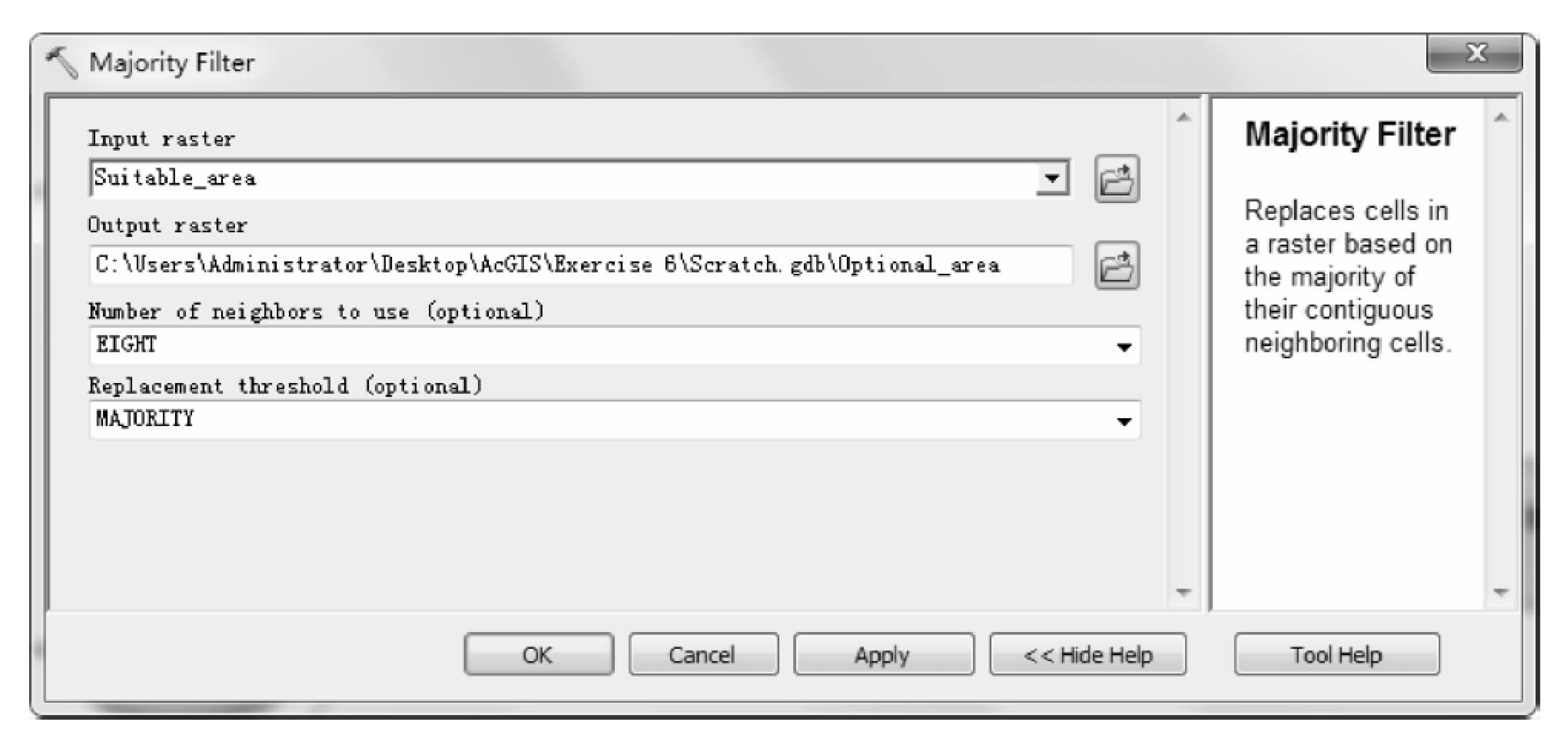


图 6-31　众数滤波工具对话框

⑤ 将提取出来的区域转换为面要素。利用"转换工具箱(Conversion Tools)|由栅格转出工具集(From Raster)|栅格转面工具(Raster to Polygon)"将上述经过层层筛选的栅格数据转换为面要素,如图 6-32 上红色区域所示。为便于识别此处只显示了矢量数据。

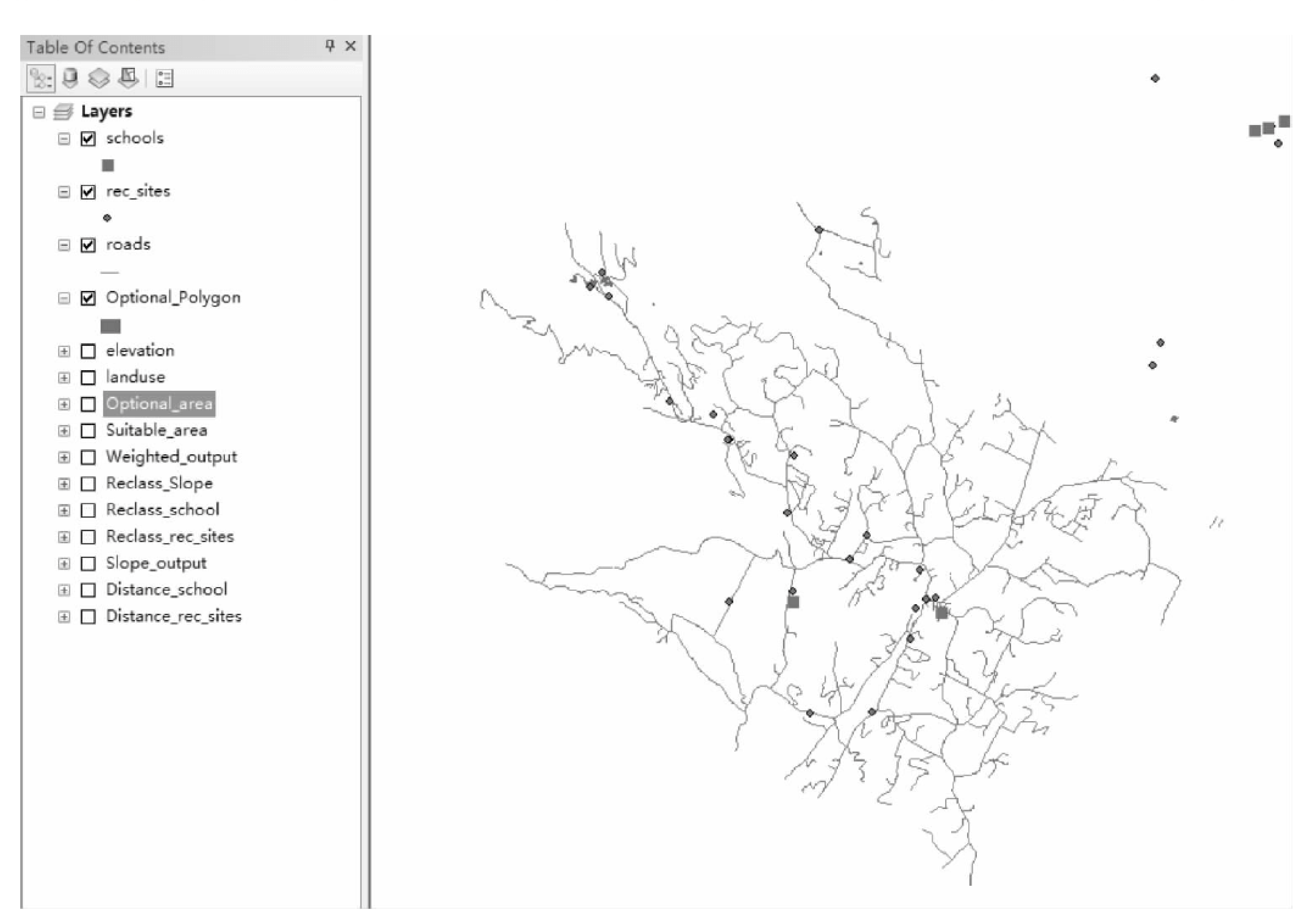


图 6-32　将适宜度最高的区域转换为面要素

⑥ 利用位置选择和属性选择功能,选择与道路相交并且面积大于 50000m² 的区域作为新学校的地址。将选出的面要素输出为新图层 Best_area,将该图层存放到 stowe.gdb中。

(4) 验证模型结果并实施结果

通过计算机建模分析得出结果后,如有条件,应实地考察,验证结果的合理性,如发现建模过程中遗漏了某些重要信息,则需要根据实际情况修改模型,重新分析。如果验证模型合理,则可以着手实施。

注:第五部分实验数据及步骤主要参考 ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件“空间分析”部分。

六、拓展练习

目标:利用应急空间数据库中的消火栓数据,分析深圳大学城清华园区内消火栓分布是否合理。

要求:利用空间模型工具解决该问题,保存模型,并将无须显示的中间结果全部输出至临时地理数据库。

注意:

1. 设置地理处理环境参数;
2. 保持数据源坐标系一致;
3. 利用空间分析工具集分析该问题;
4. 消火栓分布合理性分析分合理、缺乏、富余三种情况即可;
5. 风险等级与所需消火栓数量的对应关系自定义。

实验七　三维空间场景构建

一、实验目的

1. 了解三维地理信息系统在应急管理过程中的重要作用。
2. 熟悉 Skyline 平台下的三维 GIS 软件 TerraExplorer Pro。
3. 了解三维模型数据的获取、加载、制作、编辑等基本操作。
4. 学会利用三维 GIS 软件辅助突发事件应急管理过程的推演。

二、实验内容

1. 在 TerraExplorer Pro 中加载地形数据和栅格图层，利用导航工具浏览、定位并从不同视角查看深圳大学城清华园区及周边地区。

2. 练习使用 google 3D warehouse 资源库，在 TerraExplorer 中加载与编辑三维模型数据。

3. 练习三维建筑模型的构建和可视化操作。

4. 练习使用测量、地形分析、视域分析、阴影分析、对比分析等多种工具。

5. 通过构建动态三维场景，在三维地图中推演某种突发事件下的应急管理全过程。

三、输入输出

1. 输入数据

(1) 深圳市地形数据 shenzhen. mpt，来源：Nasa EOSDIS ASTER GDEM V002；

(2) 深圳大学城清华园区栅格地图"Tsinghua_sz_WGS84. jpg"，来源：Google Earth；

(3) Data 文件夹，内含实验练习所需的三维模型和纹理图片。

2. 拓展练习输出数据

(1) TerraExplorer 工程文件(. fly)，能够演示台风突发事件下应急管理全过程；

(2) Data 文件夹，内含工程文件中用到的素材。

命名遵循以下格式：练习 7_制图者姓名。

四、预备知识

1. SkylineGlobe 产品体系

SkylineGlobe 是三维数字地球场景和基于自身业务的可视化管理系统，其产品体系实现了从上游影像处理、中游三维展示分析、下游行业应用与信息发布的三维空间信息产业链全覆盖。SkylineGlobe 旗下包括 TerraBuilder、TerraExplorer 和 TerraGate 三个系列，其产品结构如图 7-1 所示[23]。TerraBuilder 用于创建精准的三维地形和城市模型数

据库，其中的 PhotoMesh 软件是 Skyline 的最新产品，基于倾斜摄影测量原理，仅依靠简单连续的二维图像，完全无须人工干预便可以自动生成高分辨率、带有纹理信息的三维模型。TerraExplorer 系列是在 TerraBuilder 产生的地形与模型的基础上，通过创建和编辑二维图标、三维模型、文字标注、动态物体等，构建三维场景并执行空间分析与演示操作，其中的 TerraExplorer Pro 软件兼具了 TerraExplorer Viewer 与 Plus 的功能，并提供了编辑、分析与标注等交互式三维可视化环境。TerraGate 系列产品主要用来满足 Skyline 的客户端与服务端数据传输需求，在不同用户之间提供协作会话功能。SkylineGlobe 的技术流程如图 7-2 所示，其中 TerraExplorer Pro 是本实验练习要掌握的主要软件。

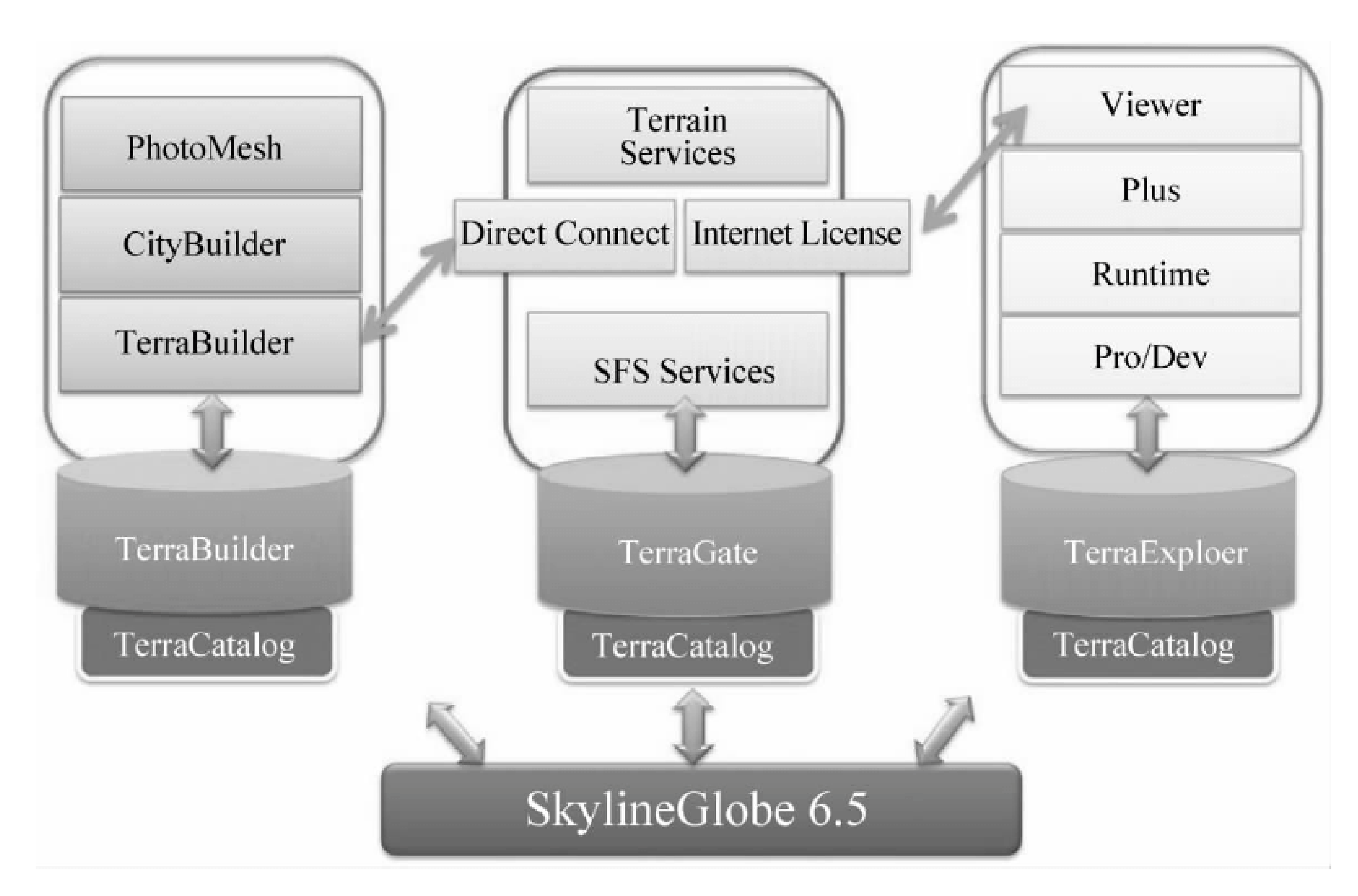


图 7-1　SkylineGlobe 产品结构[23]

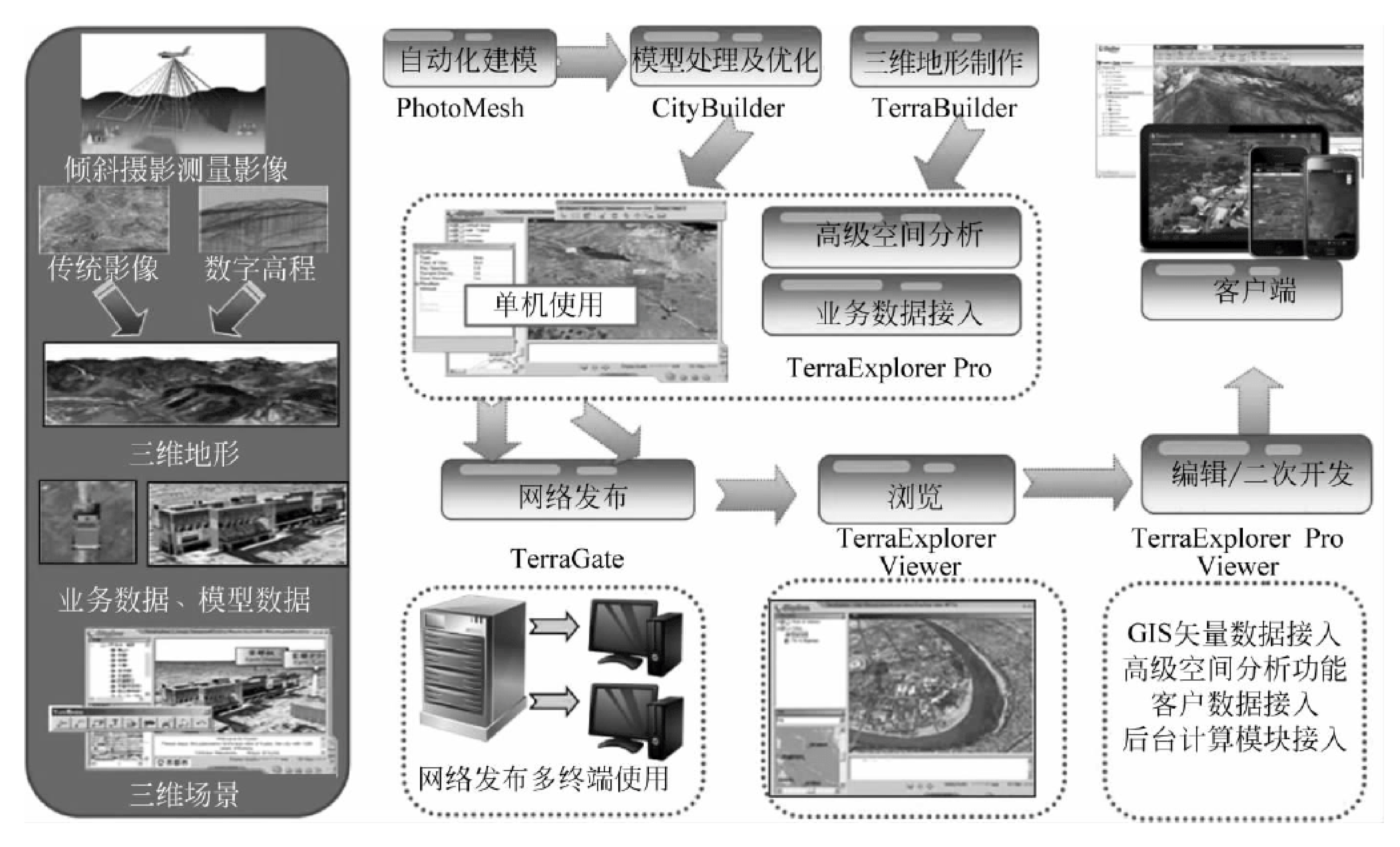


图 7-2　SkylineGlobe 技术流程[23]

2. TerraExplorer Pro 快速浏览

TerraExplorer Pro 是用于构建三维场景、执行空间分析与场景演示的工具，是 TerraExplorer 系列中最主要的软件产品，也是 SkylineGlobe 最常用客户端软件。TerraExplorer Pro 打开界面如图 7-3 所示。

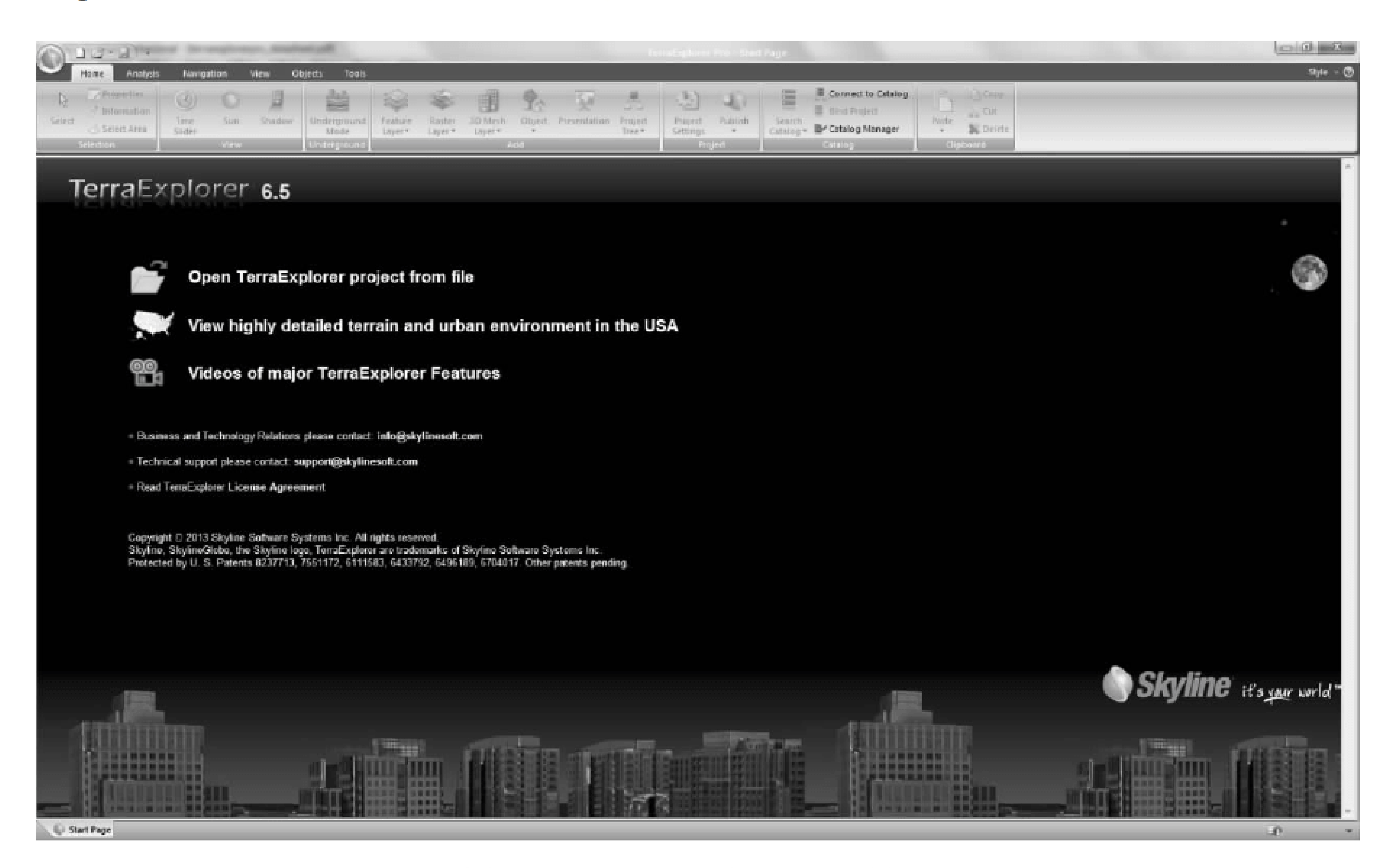


图 7-3　TerraExplorer Pro 界面

界面上提供了三个可执行项：

(1) 打开 TerraExplorer 工程文件(Open TerraExplorer project from file)

单击此项可以打开一个已有的工程文件(. fly 文件)，也可以打开地形文件(. mpt)或者其他类型的文件。

(2) 浏览美国地形与城市环境数据(View highly detailed terrain and urban environment in the USA)

单击此项会连接 www. skylineglobe. com(必须联网)，打开一个在线的工程文件 skylineglobe. fly，该文件展示了美国范围内的地形数据和街道、学校、公园数据，以及一些主要城市的部分地物三维模型，例如图 7-4 和图 7-5 所示的美国纽约帝国大厦与美国胡佛大坝。该工程文件能够给初学者一个直观的体验。

TerraExplorer Pro 的界面分为带状菜单、工程树窗口和 3D 数据框三部分。TerraExplorer Pro 使用带状菜单来组织各种工具，单击菜单栏上的任一选项卡，该选项卡下的可用操作完全呈现在用户面前。工程树窗口类似于 ArcMap 的内容列表，列出了该工程文件涉及的图层、对象、定位点等元素。定位点是 TerraExplorer Pro 非常有趣的一个功能，在工程树中用小图钉表示，双击这些定位点，数据框会自动“飞”到该点指向的地理位置，比如展开图 7-4 工程树中的 World Data 文件夹，双击其中的 HooVer Dam 定位点，就能看到如图 7-5 所示的美国胡佛大坝。

观察图 7-4 和图 7-5 上的 3D 数据框，不难分辨出几种不同的数据，在胡佛大坝周围连绵起伏的山脉需要高程数据，胡佛大坝上面黄色的公路需要矢量数据，帝国大厦需要三



图 7-4　TerraExplorer Pro 中的美国纽约帝国大厦三维模型



图 7-5　TerraExplorer Pro 中的美国胡佛大坝三维模型

维模型数据，而帝国大厦的周边环境需要影像数据。TerraExplorer Pro 支持四种图层，分别是用于表现地形数据的高层图层(Elevation Layer)、用于表现矢量数据的要素图层(Feature Layer)、用于表现栅格数据的影像图层(Imagery Layer)和用于表现三维模型的三维网格图层(3D Mesh Layer)。

除了图层之外，TerraExplorer Pro 还可创建多种对象，如图 7-6 对象(Object)菜单所示，包括文本、图片、视频、线、面、三维模型、建筑模型、动态的车或飞机、地形、数据库等，可以将这些对象添加到 3D 数据框中，形成丰富的三维场景，如图 7-7 所示。



图 7-6　TerraExplorer Pro 可创建的对象类型



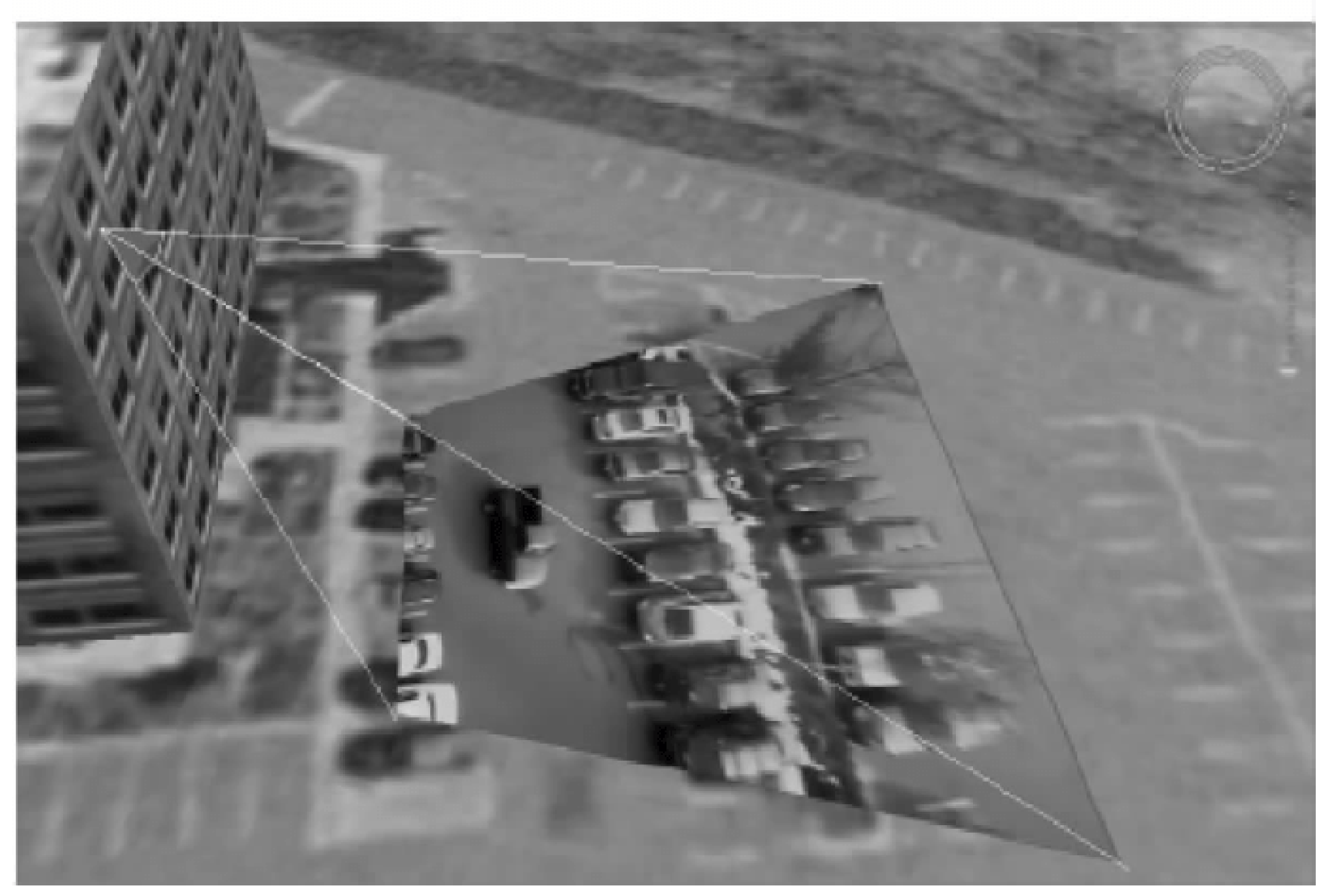


图 7-7　TerraExplorer Pro 中的建筑三维模型、动态对象

针对三维场景，TerraExplorer Pro 提供了多种分析工具，如图 7-8 所示，包括测量工具、地形分析工具、视域分析工具、阴影分析工具、对比分析工具等。表 7-1 展示了分析菜单上各种工具的简要描述，这些工具在用户基于业务的可视化过程中发挥了重要作用。在课堂练习中我们会使用这些工具执行多种分析操作。



图 7-8　TerraExplorer Pro 中的分析工具

表 7-1　TerraExplorer Pro 中的分析工具

工　　具		描　　述
测量工具	水平距离 Horizontal Distance	显示两点或多点之间的水平距离、高程差异以及坡度角
	空间距离 Aerial Distance	显示两点或多点之间的空间距离、高程差异以及坡度角
	垂直差异 Vertical Difference	显示两点的高程以及高程差异
	地形面积 Terrain Area	水平面：显示三维空间中的表面在水平面的投影面积 地形表面：显示标记区域在地形表面的面积
	三维平面面积 3D Plane Area	显示三维空间中任意多边形的面积
地形分析工具	等高线图 Contour Map	在指定区域画出等高线或/和用不同颜色区分高程范围
	坡度图 Slope Map	在指定区域用箭头或不同颜色标识地形的坡度和方向
	最佳廊道 Best Path	根据坡度限制条件，在地形图上显示两点之间的最佳廊道
	地形剖面 Terrain Profile	依据指定路径绘出地形的高程剖面图
	洪水 Flood	根据不同的洪水事态，绘出被洪水淹没的区域
	体积 Volume	分析从被选中的地形对象中取出或添加的地形的体积
	坡度 Slpoe Query	显示被选中位置的坐标、高程、最大的正向/反向坡度
视线分析工具	视线 Line of Sight	显示两点之间的视线
	三维视域 3D Viewshed	显示三维空间的可视性
	视域 Viewshed	显示二维空间的可视性
	Threat Demo	显示半球空间的可视性
阴影工具	选择阴影 Selection Shadow	显示被选中对象的阴影
	阴影问询 Shadow Query	在指定时间范围内，计算指定区域的日照-阴影比例
对比工具	影像对比 Imagery Comparison	对比两张同样区域的影像图层
	快照对比 Snapshot Comparison	生成快照，通过显示/隐藏操作对比同一区域

(3) 观看介绍 TerraExplorer 主要性能的视频文件(Videos of major TerraExplorer Features)

单击此项会跳转到 Skyline 提供的一个在线视频库，用户可自行浏览介绍 TerraExplorer Pro 性能的视频文件。

3. Google 3D warehouse

在构建三维场景的过程中，需要用到大量的三维模型，TerraExplorer Pro 只能构建建筑、地形和简单的三维形状，要获得更多更精细的三维模型，需要借助专业的第三方软件来实现。3D Warehouse 是世界上最大的免费 3D 模型分享库，其界面如图 7-9 所示[24]，通过全世界 3D 模型爱好者自发的构建和更新，如今大到全世界著名的建筑、各种交通工具、花草树木，小到室内的桌椅、杯子甚至笔，几乎所有类型的物体，都可以在 3D Warehouse 中找到相应的模型。这使得非专业的用户不需要学习任何三维模型制作软件，就能够非常方便地构建自己的三维场景。

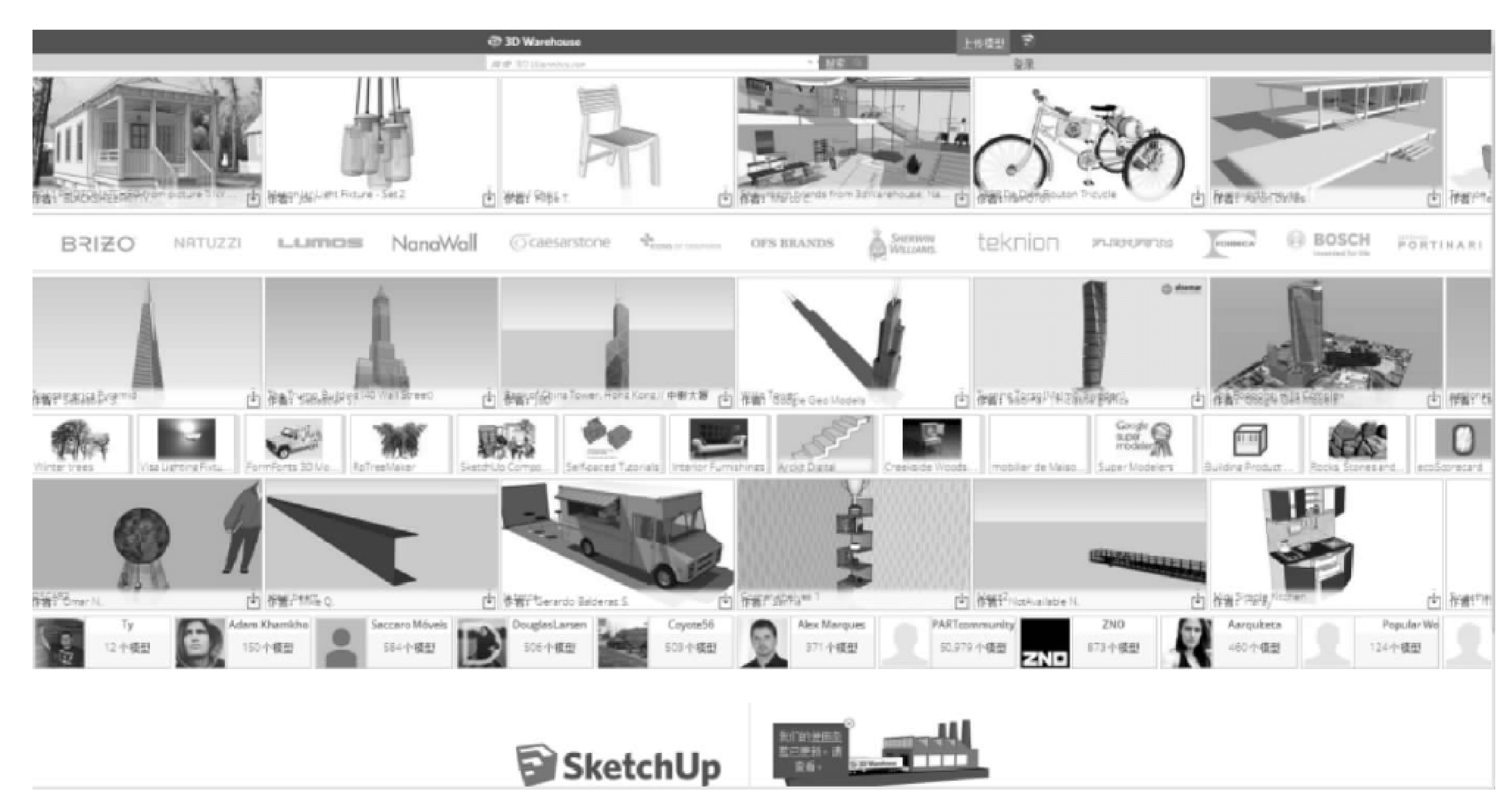


图 7-9　3D Warehouse[24]

从 3D Warehouse 上下载的模型都是通过 SketchUp 软件编辑的，默认为.skp 格式，可以通过 SketchUp 另存为 TerraExplore 可直接读取的.dae 格式。

五、实验步骤

1. 新建工程文件，加载深圳市地形数据 shenzhen.mpt

在弹出的工程设置(Project Setting)对话框的常规(General)选项卡中填写工程名称。

在环境(Environment)选项卡中可以设置季节、天空、雾、云、海水等的参数。在日期和光线(Data and Light)选项卡中可以设置时间和光源、阴影的参数。

设置完成后单击“确定”，之后可以看到如图 7-10 所示的地球三维模型。

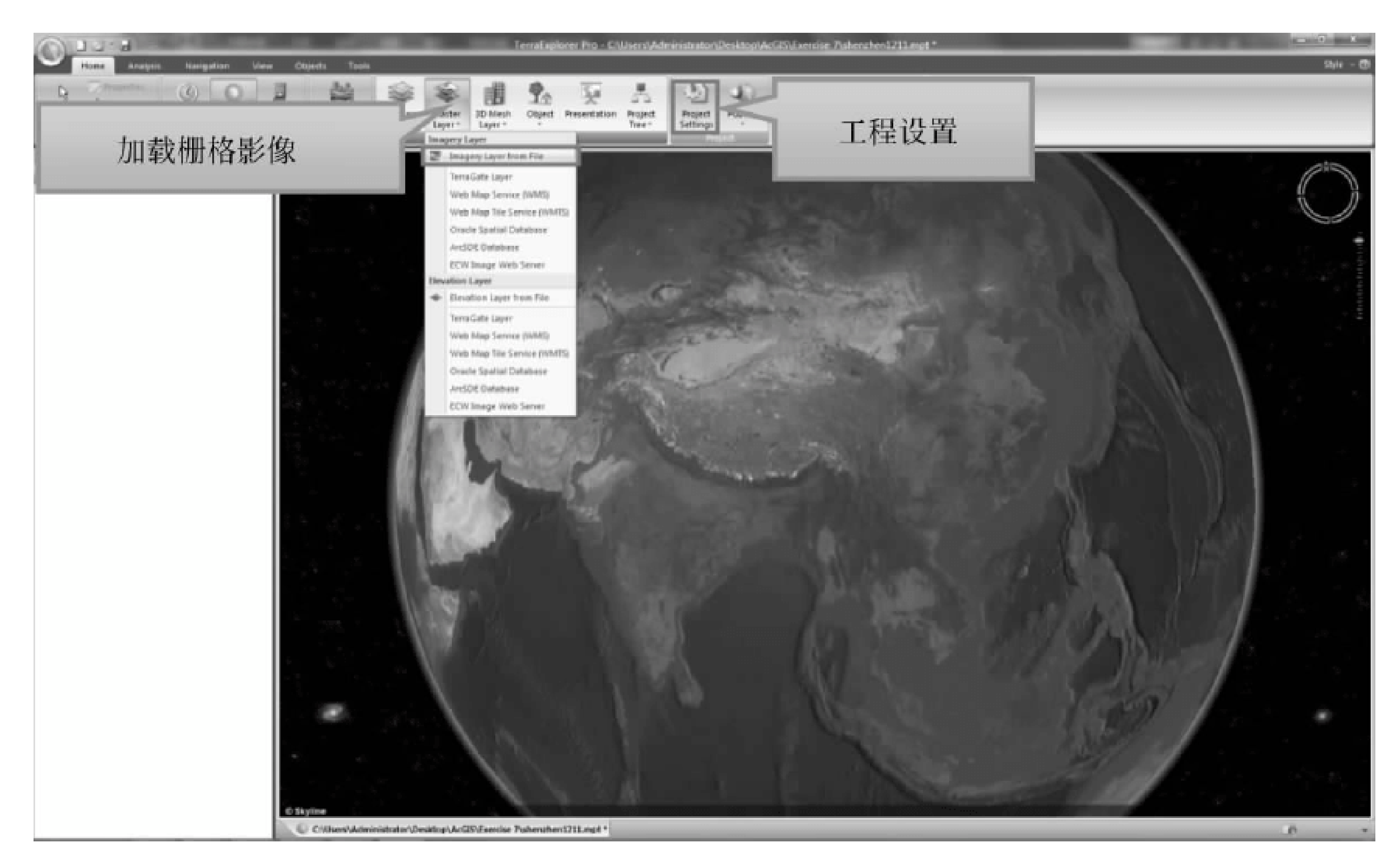


图 7-10　新建工程文件并加载地形数据

本实验提示 1：如对前面所设置的工程参数不满意，可以单击菜单“主页(Home)|工程设置(Project Setting)”，重新打开工程设置对话框进行参数修改。

单击菜单“主页(Home)|栅格图层(Raster Layer)|影像图层(Imagery Layer)|来自文件(Imagery Layer from File)”，加载深圳大学城栅格数据 szdxc.jpg。此时工程树窗口出现该图层图标，并自动打开了其属性表。在工程树中双击 szdxc 图层，3D 数据窗口自动“飞”到该栅格图层覆盖的位置，并以黄色方框框出其覆盖范围。关闭 szdxc 图层的属性窗口(见图 7-11)。

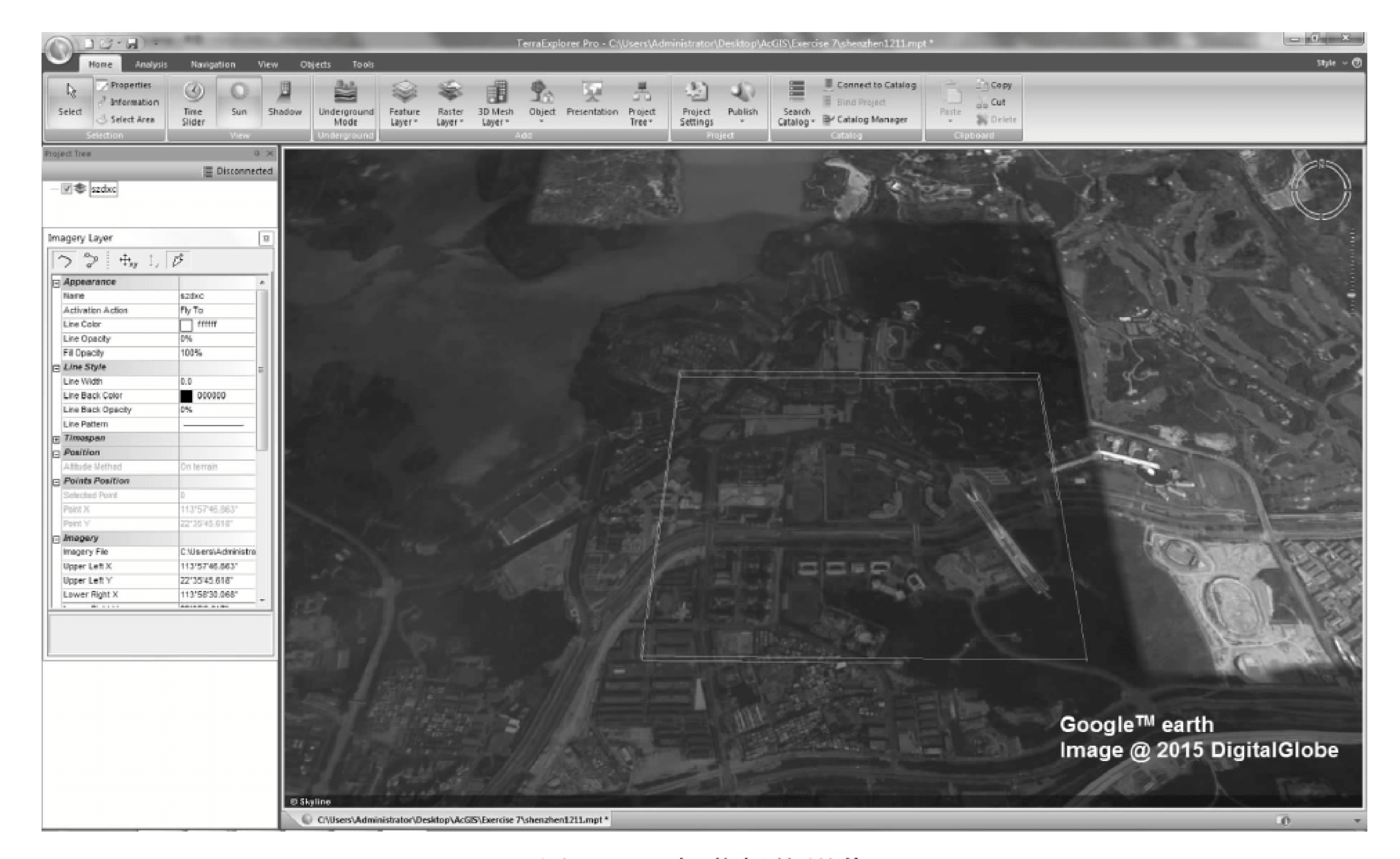


图 7-11　加载栅格影像

2. 用多种导航(Navigation)功能，以不同视角查看深圳大学城周边环境

(1) 在前面我们已经使用了一种导航方式，即在工程树中直接双击对象或定位点，对于大范围内快速定位感兴趣区，这种方法是最便捷的。用户也可以在工程树中右键单击对象/图层，选择“飞往对象(Fly to Object)”、“跳至对象(Jump to Object)”，或者以某种方式“查看对象(View Object)”(见图 7-12)。

(2) 当定位到感兴趣区后，最常用的导航方式是使用 3D 数据框右上角的 HUD 导航控制，如图 7-13 所示。类似的控制方式在谷歌地图、百度地图等多种在线地图或地图软件中均有应用。

(3) 在默认模式下，使用鼠标的拖曳或者滚轮，可以直接实现地图的平移和缩放。按下 Ctrl 键后，利用鼠标可以实现地图旋转。

(4) 使用导航菜单，可以选择鼠标的导航模式、导航的维度、打开导航地图，或者使用 GPS 等多种导航助手，如图 7-14 所示。

3. 根据预备知识中介绍的多种地形分析工具，分析大学城周边的地形环境

地形分析(Terrain Analyze)工具位于分析(Analysis)菜单，如图 7-15 所示。利用导航工具导航到大学城附近某一山脉。

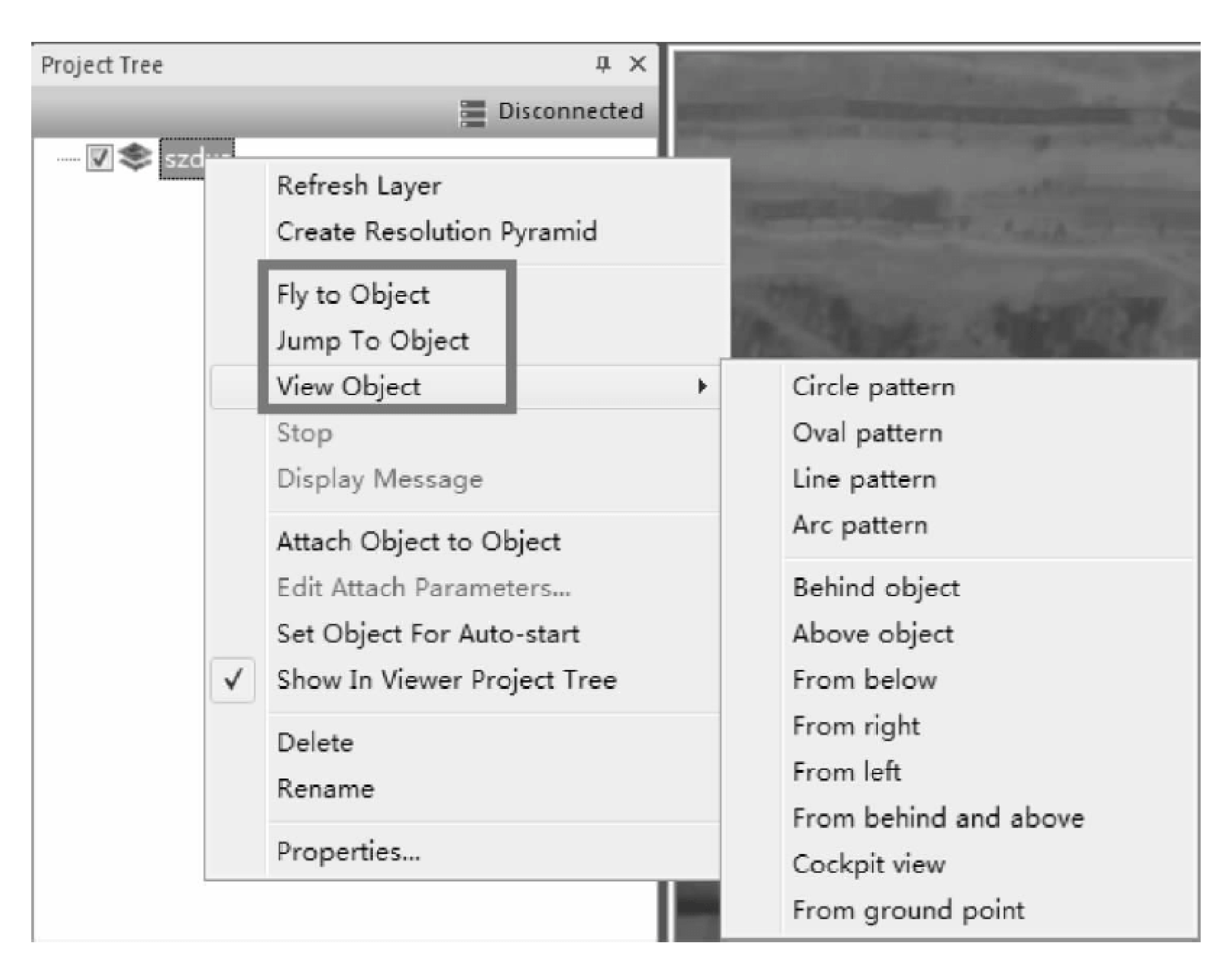


图 7-12　快捷导航方式

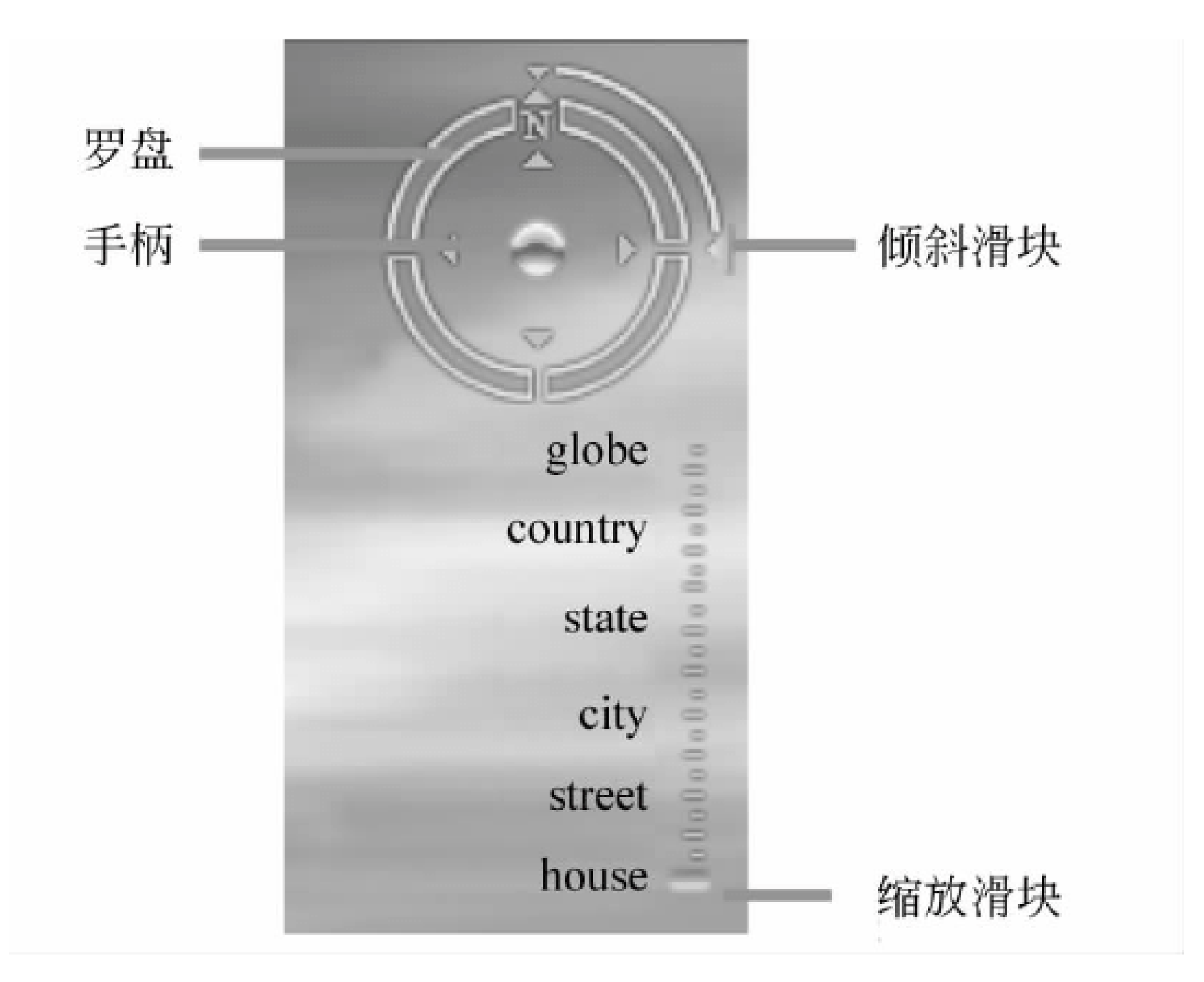


图 7-13　HUD 导航控制

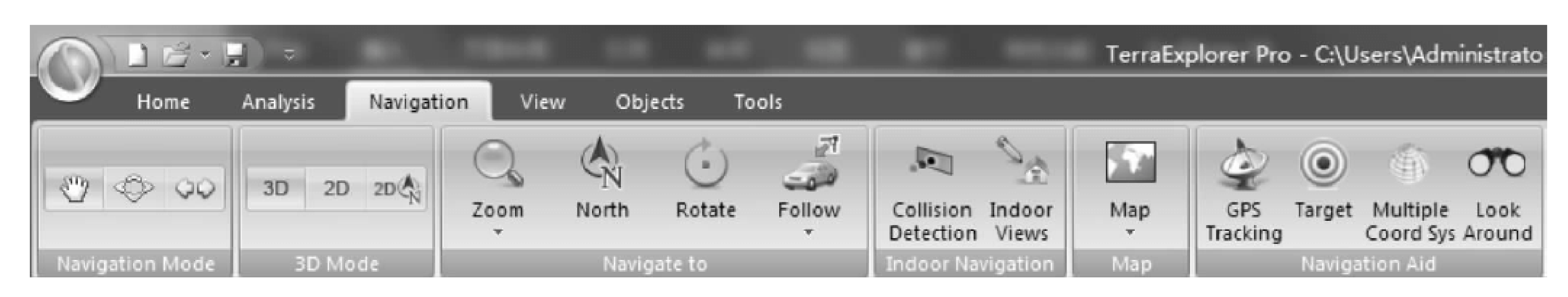


图 7-14　导航菜单

(1) 做出等高线图、坡度坡向图

选择"等高地图(Contour Map)"中的某一工具，如图 7-16 所示，比如同时用颜色和线表示等高区域(Contour Colors and Lines)，鼠标将变成箭头图样，同时打开等高地图属性

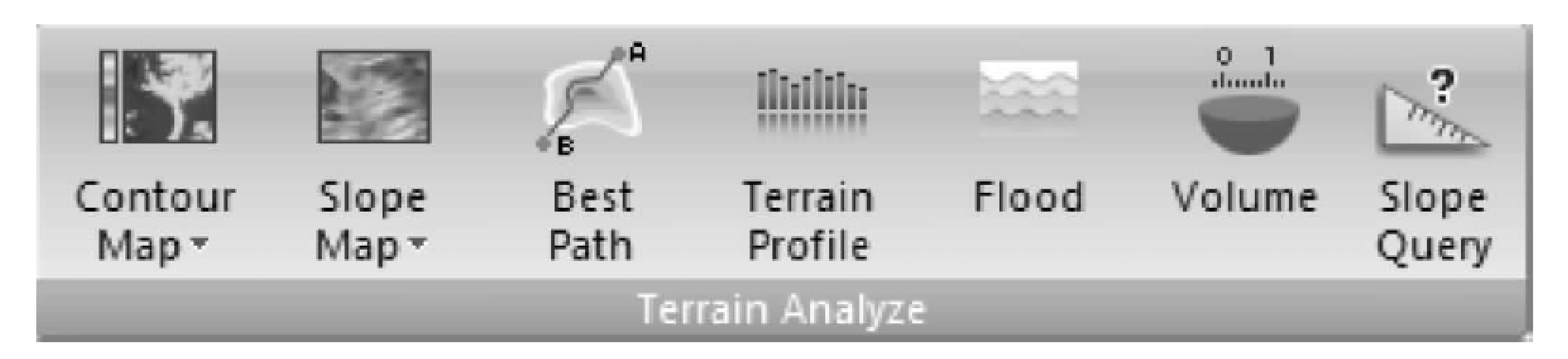


图 7-15 地形分析工具

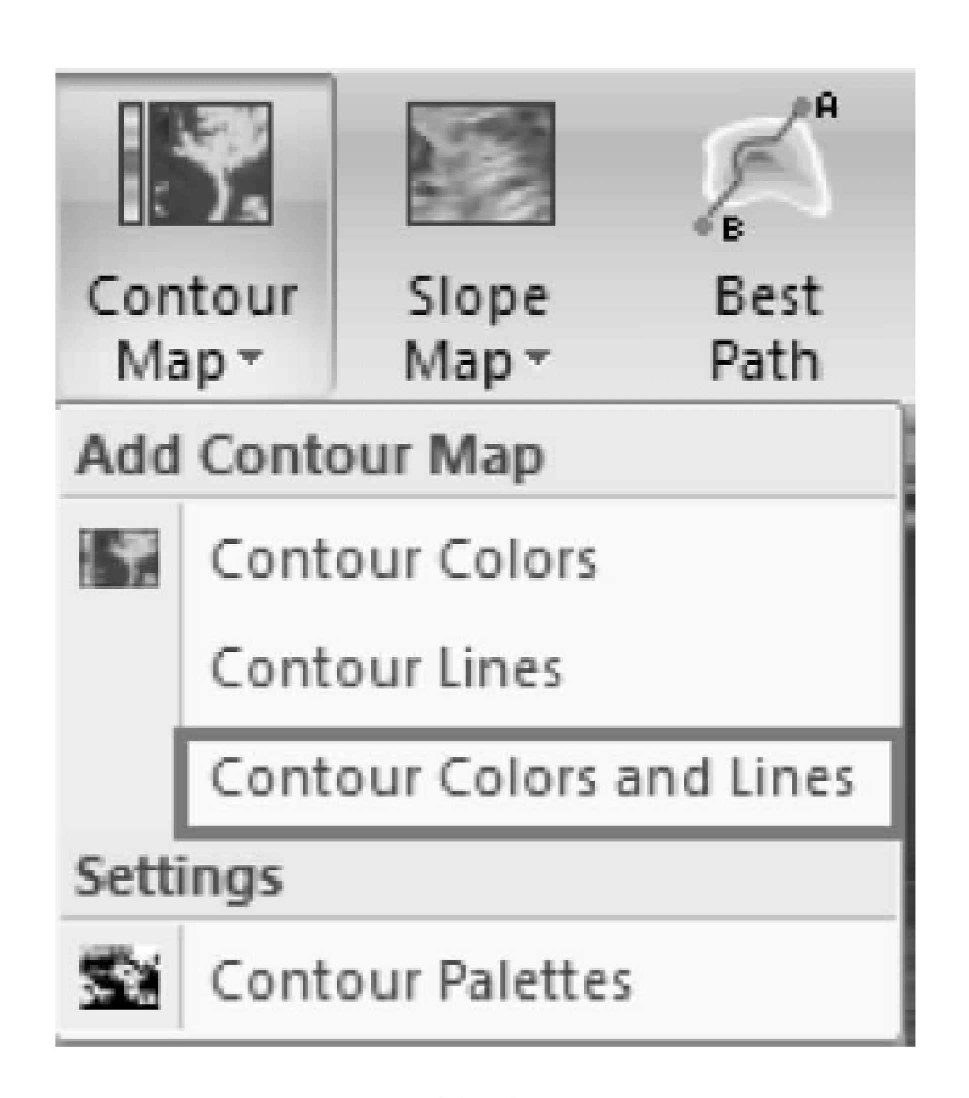


图 7-16 等高地图工具

窗口，在 3D 数据框某一山脉上通过单击画出一个矩形区域，如图 7-17 所示。可以看到该区域被覆盖了蓝色，同时画上了等高线。用户尝试将属性窗口中的“调色板(Contour Palettes)”修改为其他值，比如“TEP5”，该区域的色系会相应变化。同理可以通过调整属性窗口的“等高线间隔(Contour Lines Interval)”调整等高线密度。

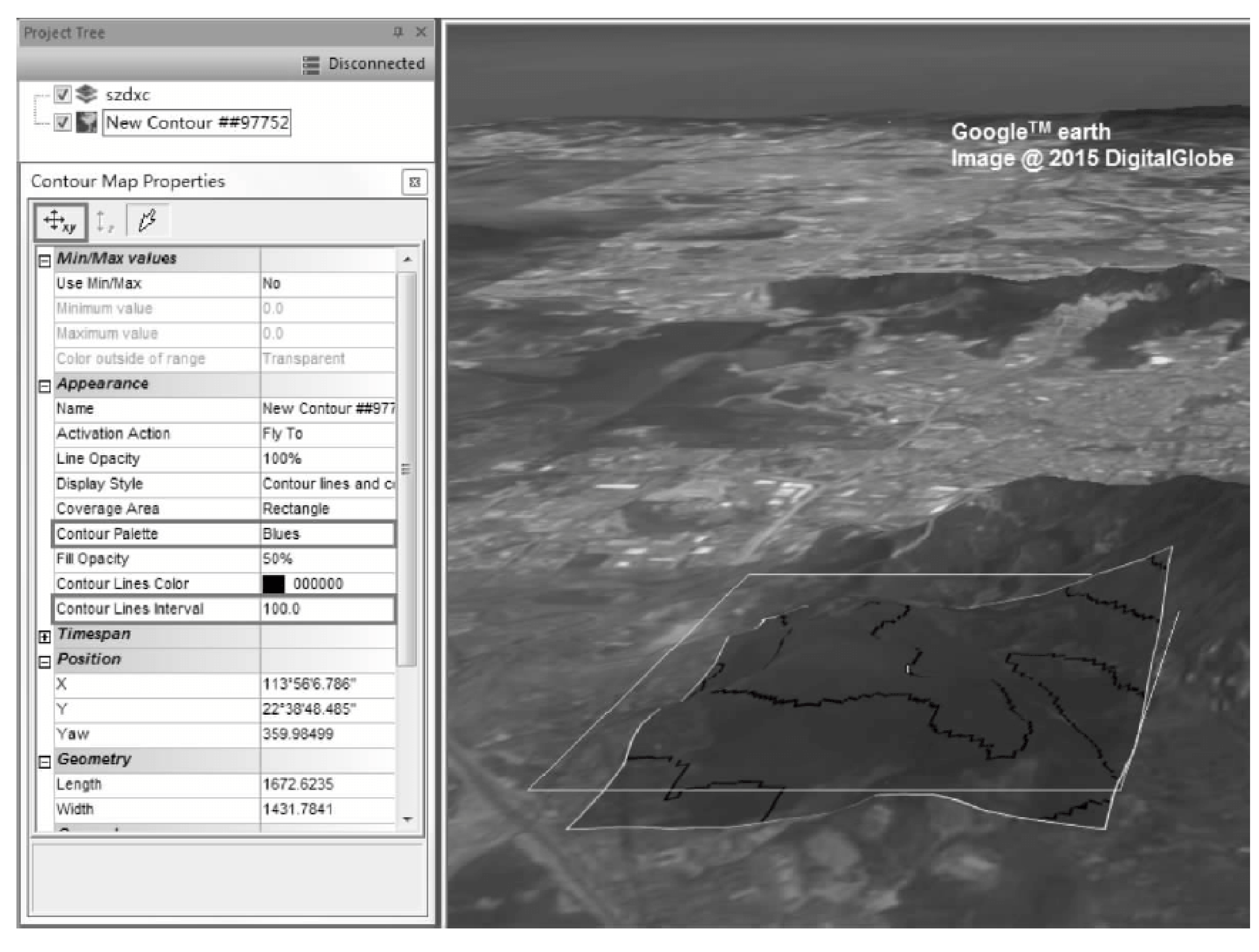


图 7-17 绘制等高地图

本实验提示 2：如果希望调色板选定的方案用于所有等高地图，单击“等高地图(Contour Map)|调色板(Contour Palettes)”，打开调色板做统一设置。

利用属性窗口上的✥xy图标可以移动等高地图区域，随着该区域的移动，区域内的等高线和色块也会随着地形的变化而变化。关掉属性窗口，鼠标变成小手图标，将鼠标放在等高线上，会显示该线标识的高度值。

同理，利用坡度地图(Slope Map)画出某一区域的坡度图。如图 7-18 所示，此处不再详述。

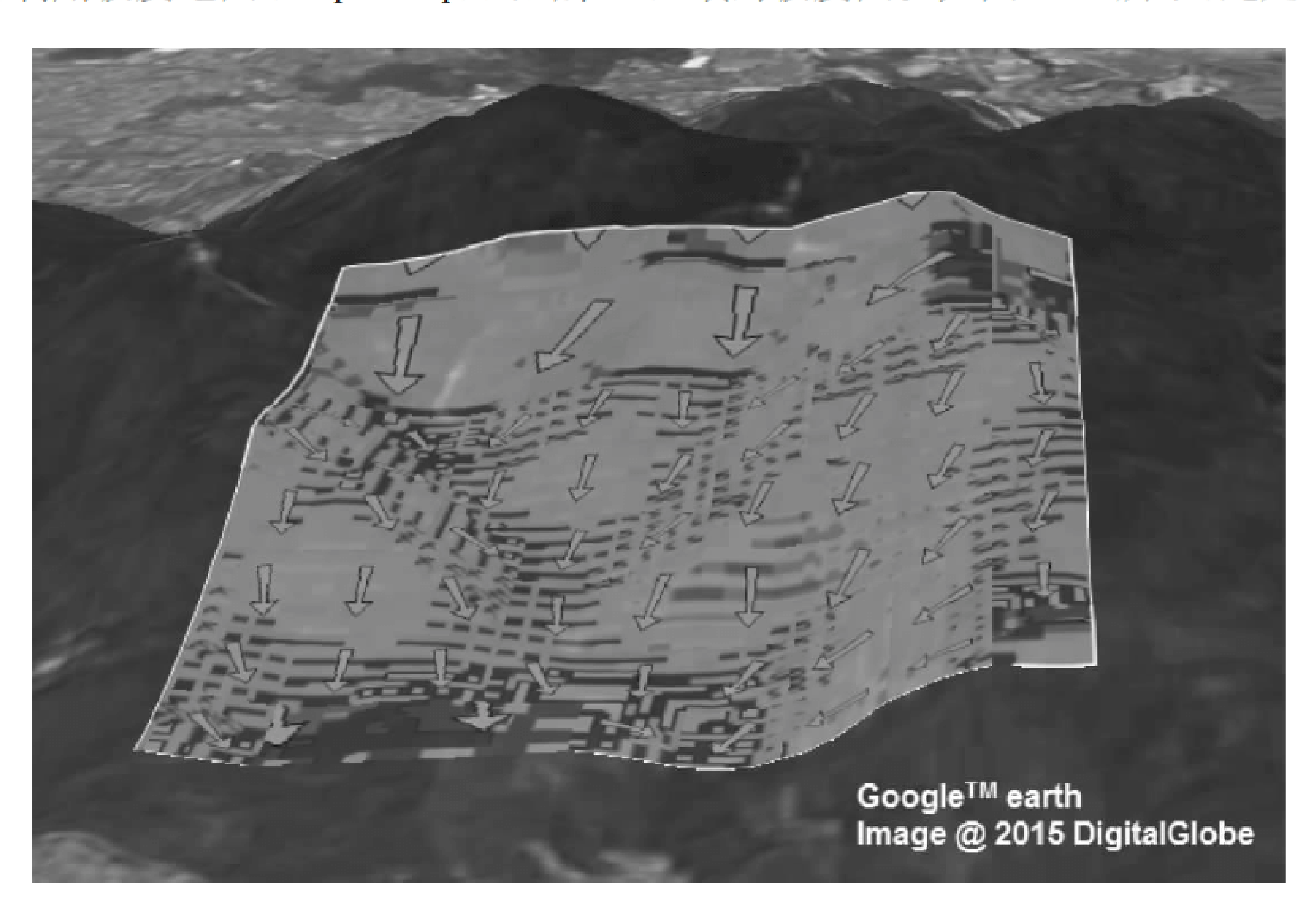


图 7-18　绘制坡度图

(2) 画出 5m 洪水淹没区

单击“洪水(Flood)”工具，鼠标变成箭头图样，并自动弹出属性设置窗口，该窗口不同于之前使用等高地图和坡度地图工具时弹出属性窗口，如图 7-19 所示。

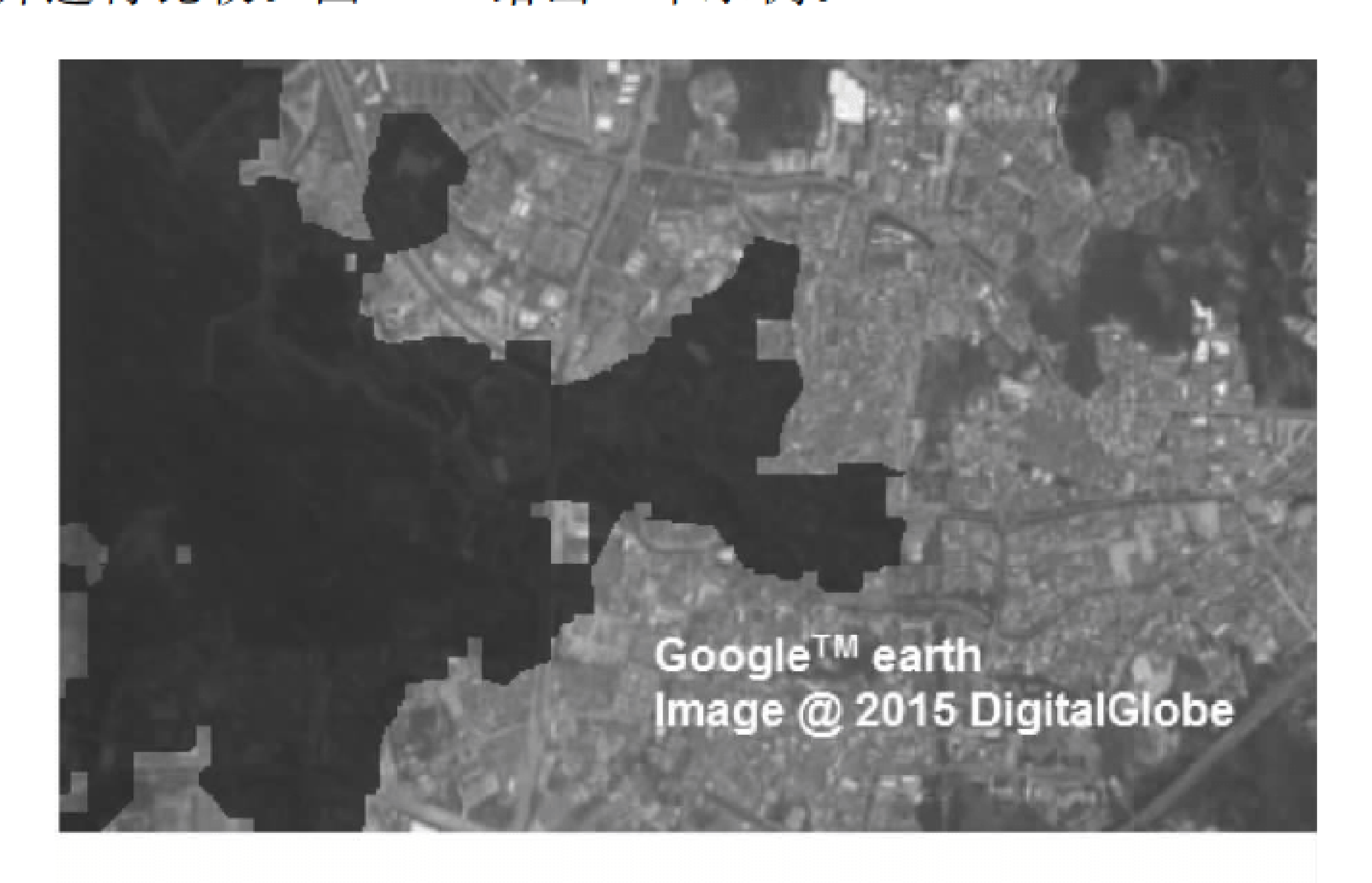
本实验提示 3：在指定分析区域之前，就必须设置洪水淹没的高度，此项是不能在绘制之后再修改的。

Property sheet

⊟ **Settings**	
Name	Flood Analysis ##181998
X	113.90441
Y	22.718737
Radius	0.0
Area Type	Circle
⊟ **Flood**	
Flood Type	Lake
Sample Interval	8.0
Scenario	Single instance
Water Rise Level	5.0
Water Rise Rate	3.0
Start Time	2015/11/5 13:44:41
End Time	2015/11/5 16:44:41
Time Sample Interval	1.0

图 7-19　设置淹没高度

之后绘制过程与等高地图相同,此处不再详述,用户可以画出同一区域 3m 水深和 5m 水深的图,并进行比较。图 7-20 给出一个示例。



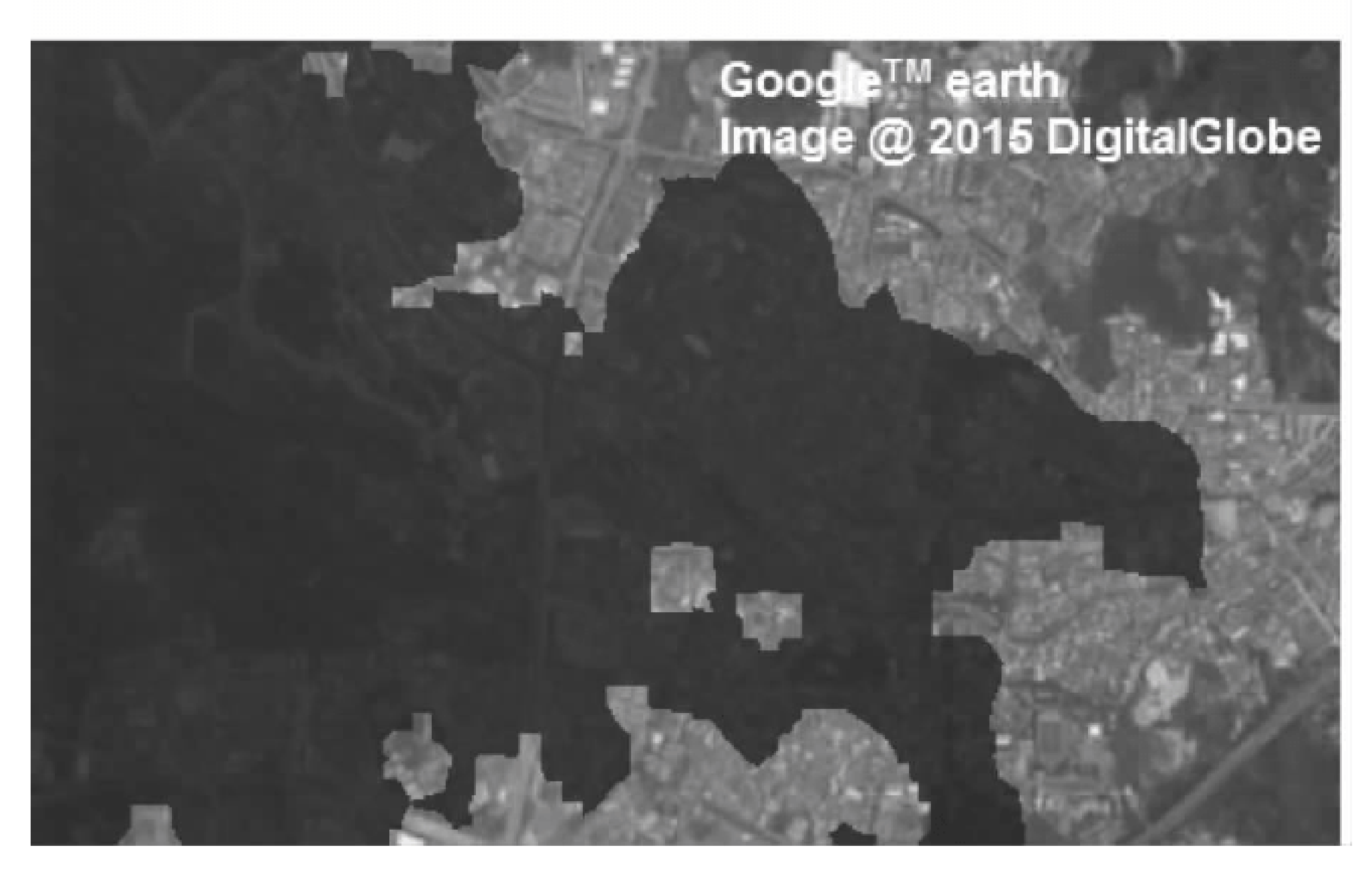


图 7-20　不同洪水淹没高度的淹没区域比较

(3) 做出侧面地形图,分析峰谷海拔差异

利用"地形剖面(Terrain Profile)"工具,在某地形明显起伏的区域画出一条线,单击右键结束绘制,之后自动打开地形剖面图窗口,可以利用上面的小工具获得最高点和最低点的高程、最陡处的坡度或任意点的高程与坡度值(见图 7-21)。

4. 三维模型加载、编辑

利用导航工具定位到深圳大学城清华园区内某条马路。

(1) 从 3D warehouse 下载车辆和树木的三维模型,用 SketchUP 转换成 dae 格式,供 TerroExplore Pro 使用。在本练习中用户可直接使用 Data 文件夹中的 Bus. dae 和 Tree. dae 文件。

(2) 加载车辆三维模型至某一道路上,编辑该模型,让车辆在某路段上行走一段距离。

要使车辆能够运动,必须添加动态对象,TerraExplore Pro 的"对象(Object)"菜单如图 7-6 所示。单击"对象(Object)"菜单的"动态对象(Dynamic Object)|地面对象(Ground

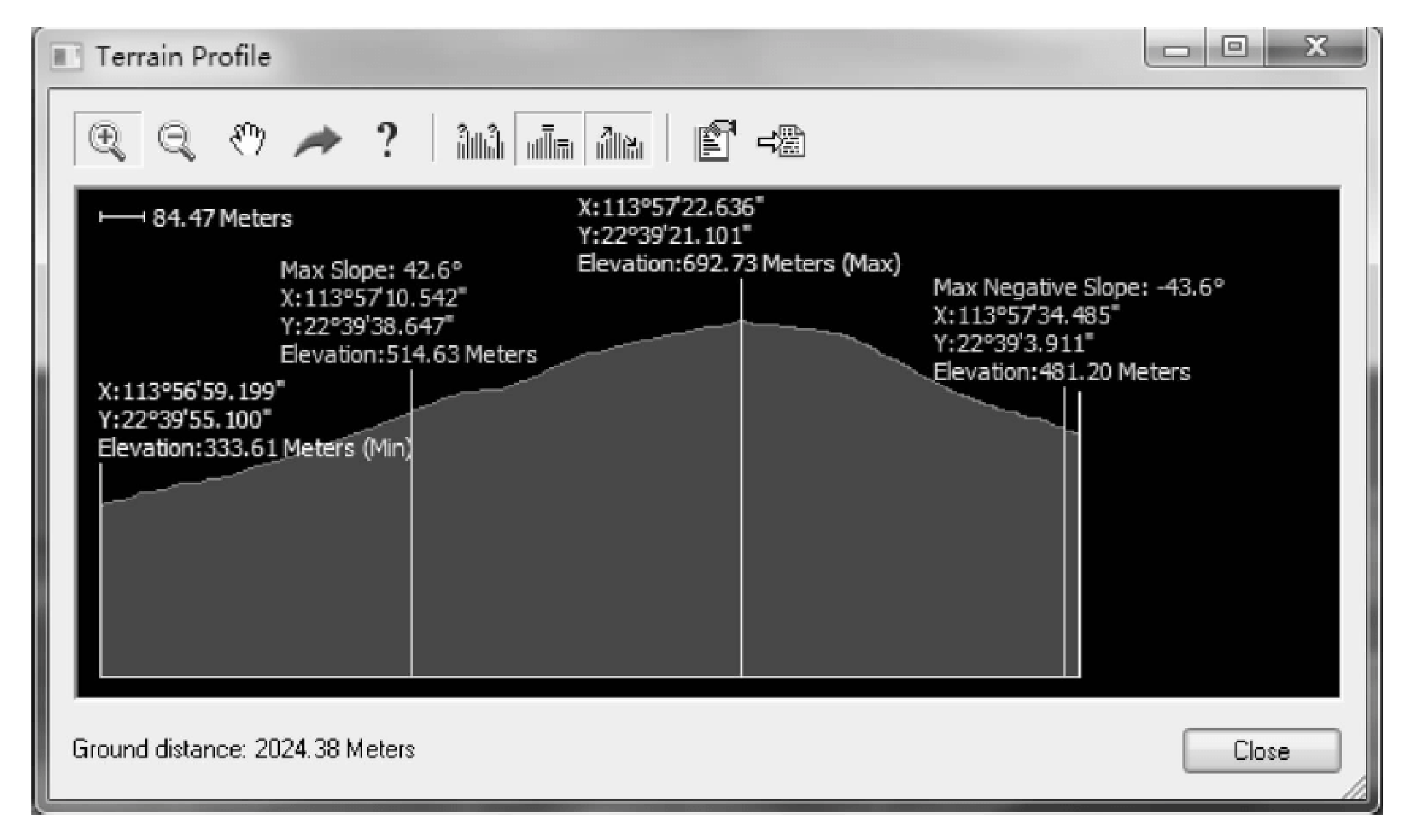


图 7-21　地形剖面图

Object)”，在弹出的动态对象属性窗口“Object Option”栏设置动态对象的类型和文件名，如图 7-22 所示。TerraExplorer 支持为 3D 模型、图标、文本以及虚拟的物体制定运动路线，同时支持车辆、直升机、固定翼、旋翼等运动方式，本练习动态对象为车辆（见图 7-23）。在 File Name 中指定添加的模型地址，之后鼠标变成箭头图样，在 3D 数据框合适的位置单击放置动态对象的起始点，之后画出其运动路线，最后单击鼠标右键结束绘制。

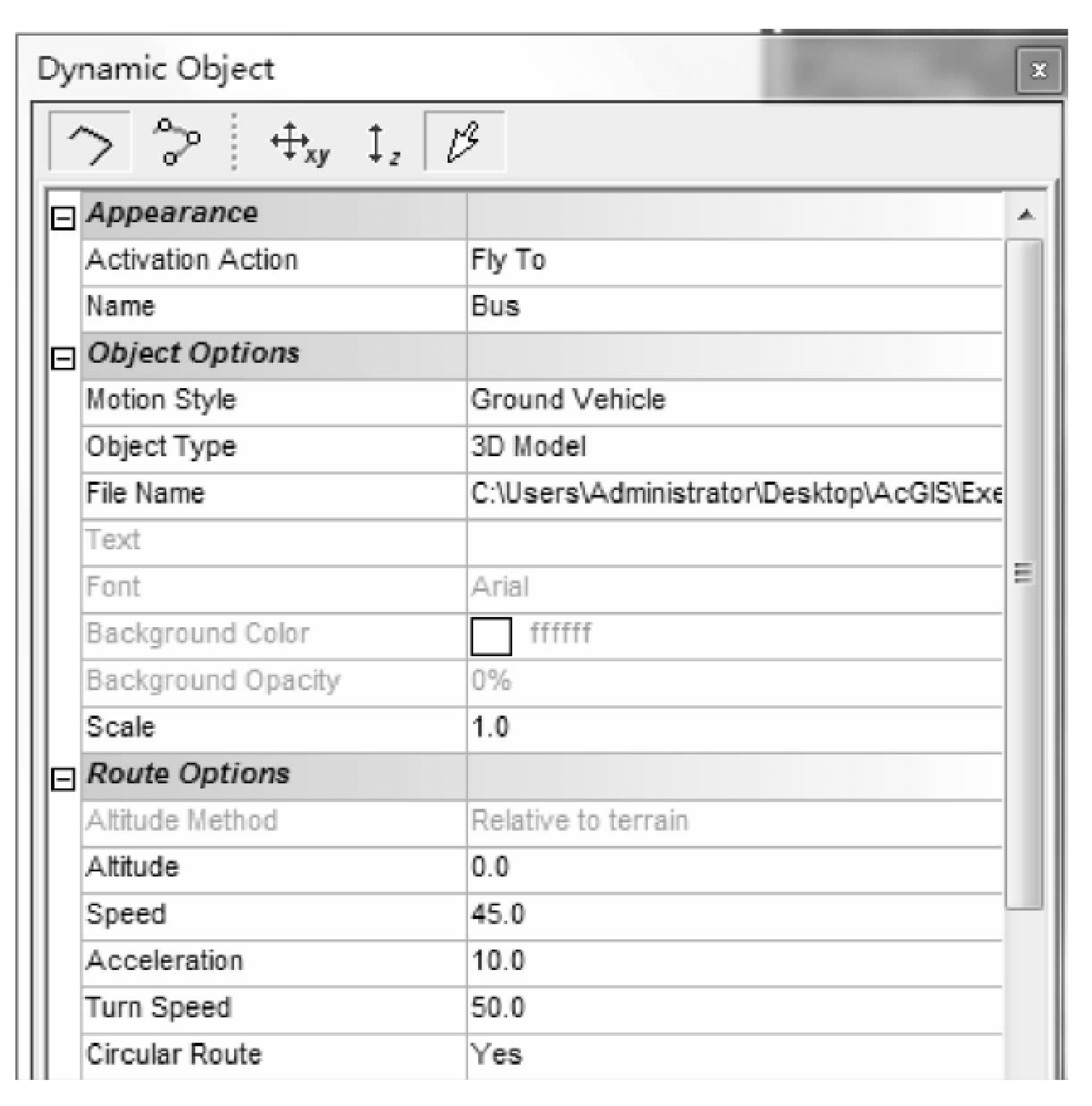


图 7-22　动态对象属性表

在 Scale 栏设置模型放大倍率。在 Route Option 中设置其运动的速度、加速度、转弯速度等，并设置其转弯模式是直角转弯还是协调转弯。单击属性窗口中的每一项，在窗口



图 7-23　动态车辆三维模型

下方均会出现该项的说明，用户可根据需要自行了解。设置完成后关闭属性窗口，可以看到车辆开始沿预设路径循环运动。

本实验提示 4：如需调整运动路线，单击属性窗口上方的图标，调整运动轨迹中的角点。

(3) 加载树木三维模型至某一绿化区，复制该模型，做出一排树木效果，做出一棵树木侧翻的效果。

利用“工具(Tool)”菜单的“复制对象(Duplicate)”工具，对象类型设为 3D 模型(3D Model)，文件名称(File Name)一栏选择加载 Tree. dae 文件，设置好缩放比例(Scale)和间距(Spacing)。单击“依据线(Follow Line)”按钮，在 3D 数据框中画出一条线，单击右键结束绘制，之后可以看到数据框中沿线出现一排树木(见图 7-24)。

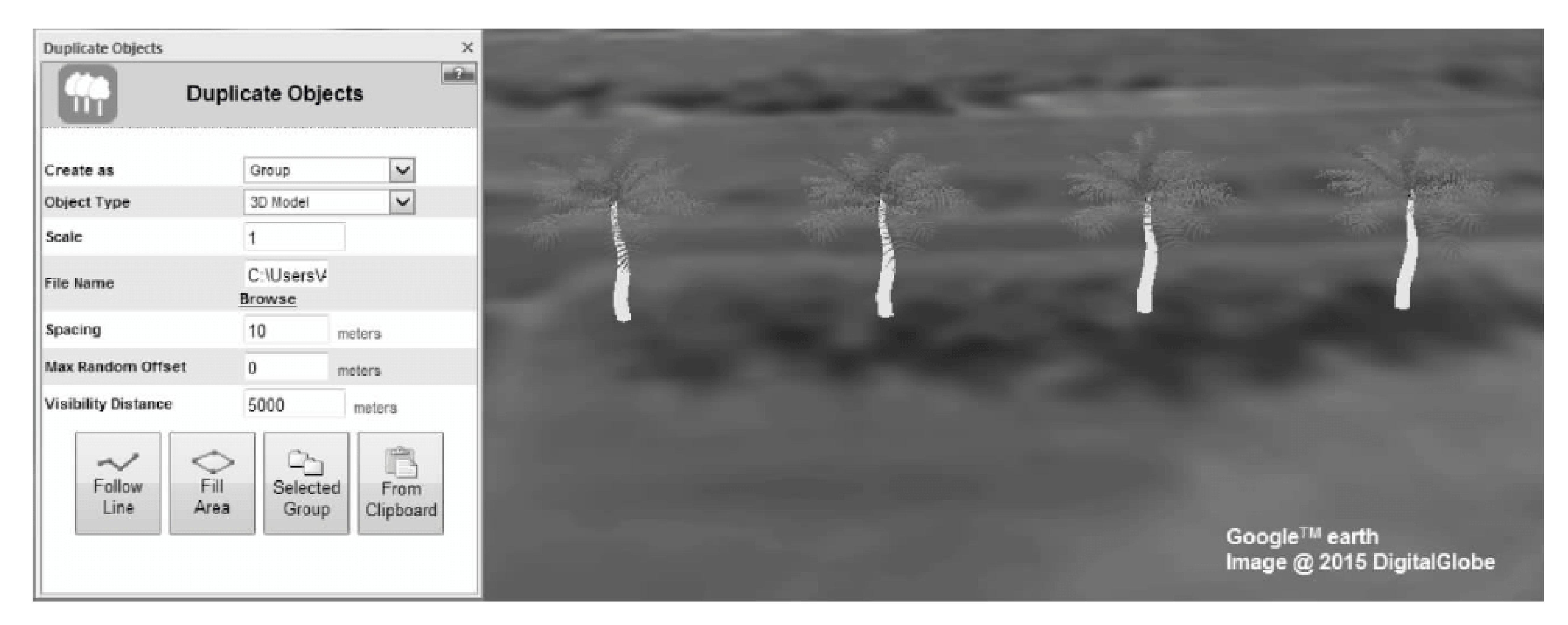


图 7-24　复制树木三维模型

相应地，工程树中出现一个对象组“Duplicate Objects (3D Model)”，组中包含四棵树木的 3D 模型对象，右键打开第一棵树的属性窗口，该对象同时被选中。单击属性窗口上

方的✥$_{xy}$按钮，调整第一棵树的倾斜度，做出其侧翻的效果。如图 7-25 所示。用户也可以通过调整属性窗口“位置（Position）”项中的“Yaw/Pitch/Roll”三个角度项来实现同样的效果。



图 7-25　设置树木侧翻效果

5. 建筑对象构建

（1）构建三栋学生宿舍楼，从纹理库中选择合适的立面纹理，利用复制、剪切、粘贴等方式，减少重复性工作。

利用导航工具，将 3D 数据框改为俯视图，并定位到东北角的学生宿舍区，如图 7-26 所示。



图 7-26　学生宿舍区

在 Object 菜单中有专门的构建建筑三维模型的工具，单击“3D 对象(3D Object)|建筑(Building)”，鼠标变成箭头图样，在地图上描绘出一栋学生宿舍楼的平面轮廓(红色)，单击右键结束绘制，然后拉出一定高度，单击左键结束绘制。调整视角，可以看到在地形上出现一个墨绿色的三维模型，具有 13 个可编辑的角点，如图 7-27 所示。

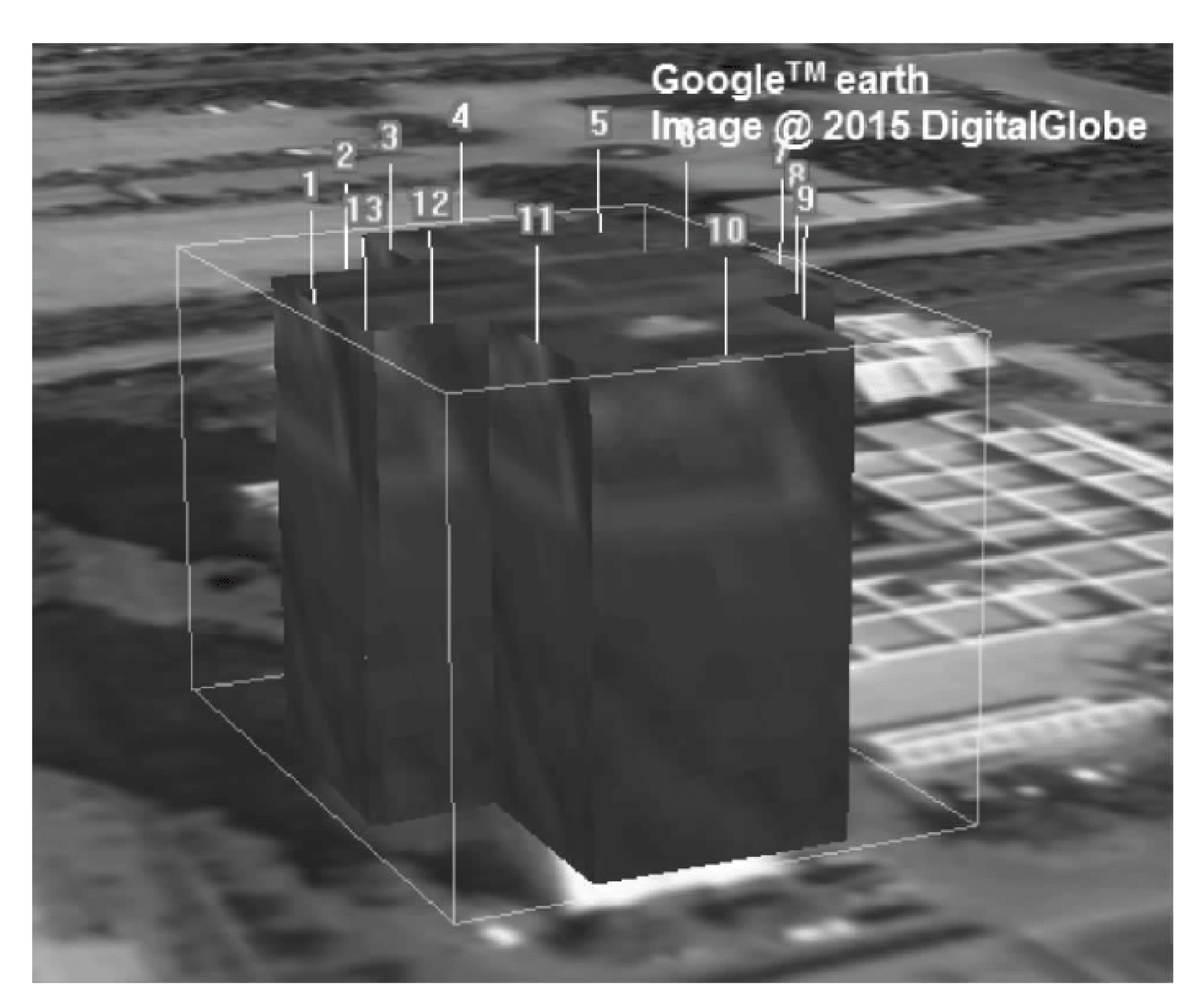


图 7-27　构建三维建筑模型

建筑最重要的属性包括位置、轮廓和纹理，这三个属性均可以通过属性窗口来设置。

利用属性窗口的和按钮，或者“位置(Position)”项可以调整建筑模型的三维坐标，“几何(Geometry)”项可以调整建筑模型的高度。

利用属性窗口的按钮，可以调整建筑的轮廓，包括地面轮廓和顶面轮廓。

利用属性窗口的“纹理(Texture)”项，可以调整建筑的表面纹理。如图 7-28 所示。

纹理可以使用单一颜色，也可以使用图片，用户通过属性窗口中的“纹理(Texture)|被选面(Selected Face)”选择要修改纹理的面，可以是立面，也可以是顶面。在“面填充类型(Face Fill Type)”中选择要用文件图片填充，还是要用单一颜色或者地形纹理填充。如选择用文件图片填充，则在“面纹理文件(Face Texture File)”中填写文件图片的地址。使用该方法修改四个立面纹理，可以在 TerraExplorer 自带的纹理库或者本练习提供的 Data 文件夹中自选纹理图片，实例效果如图 7-29 所示。

选中该建筑模型，利用“主页(Home)”菜单上的“剪贴板(Clipboard)|复制(Cpoy)”与“粘贴(Paste)”功能，复制出另外两栋宿舍楼。

(2) 练习使用“分析(Analysis)”菜单的测量工具测量建筑的外形尺寸。

(3) 练习使用阴影分析工具，结合时间滑块显示阴影，并分析宿舍楼旁某个绿化带当日的日照时间比例。

选中“主页(Home)”菜单的上“视图(View)”中的时间滑块、日照和阴影工具，如图 7-30 所示。时间滑块显示了一天 24 小时，拖动滑块，可以看到阴影在一天内的变化情况。当然，工程文件应该设置了正确的时区，阴影的变化情况才能与实际情况相符。



图 7-28　建筑模型属性窗口

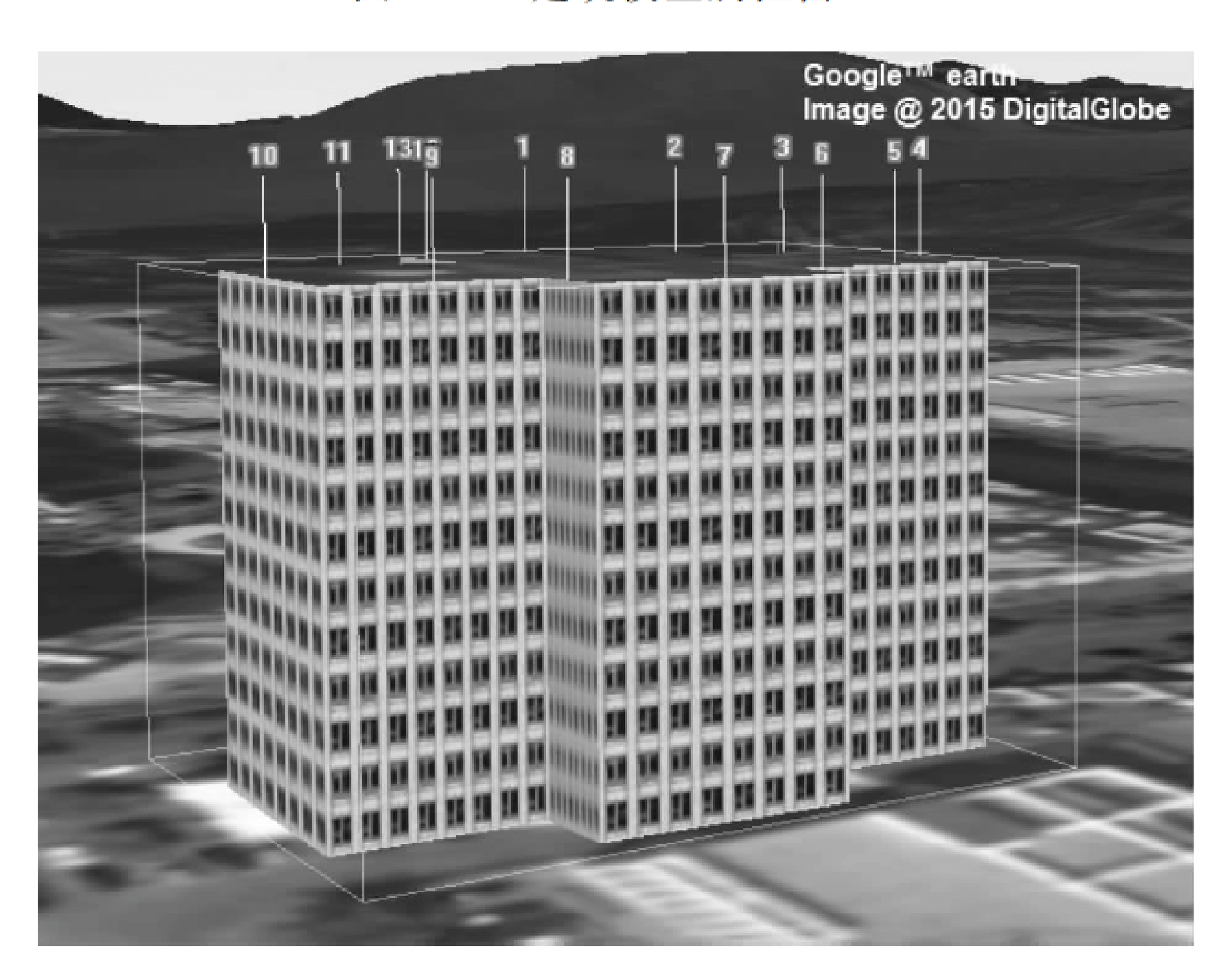


图 7-29　贴上纹理图片后的建筑模型



图 7-30　时间滑块、日照和阴影工具

本实验提示5：如果用户只想显示某栋建筑的阴影，可以选中该建筑后，使用分析菜单上的阴影分析工具“选择阴影(Selection Shadow)”。

使用分析菜单上的阴影分析工具“阴影问询(Shadow Query)”，可以分析日照率。单击该工具，在弹出的对话框中设置好分析的空间间距和时间间距、时区、一日起止时间等参数。单击“填充面(Fill Area)”，在3D数据框中画出一个区域，单击右键结束绘制，经过短暂分析后，数据框中出现一系列圆点，如图7-31所示。TerraExplorer Pro用四种颜色的圆点表示四种的日照率，分别是：

绿色：100％

黄色：65％以上

橙色：35％～65％

红色：小于35％

从图中可以直观地看出日照率分布。

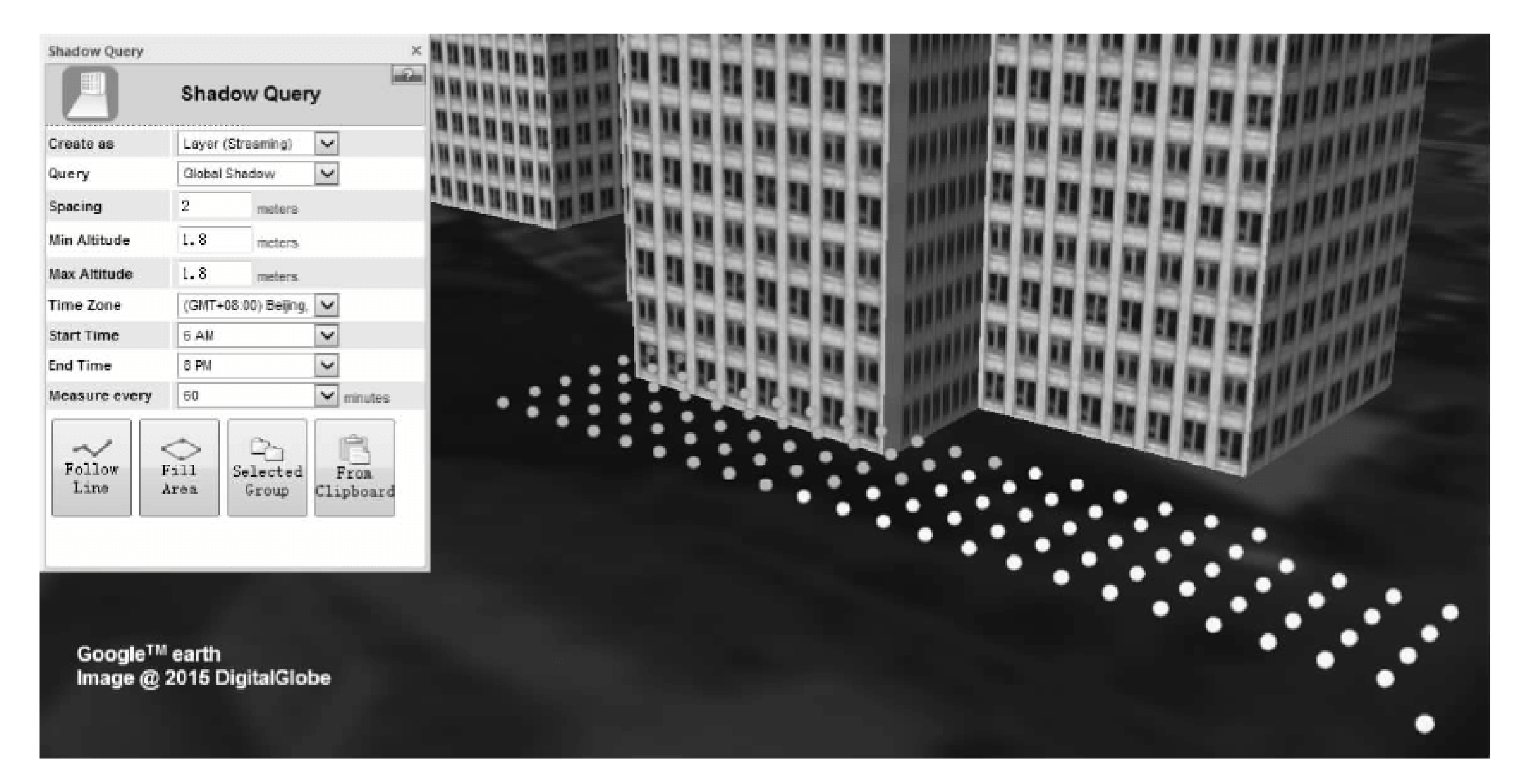


图7-31　日照率分布

(4) 练习使用视域分析工具，分析三维视域。

使用分析菜单中的“视线(Line of Sight)|三维视域(3D Viewshed)”工具，在3D数据框中指定分析区域。如图7-32所示，属性窗口可以设置可视区和不可视区的颜色，默认是绿色和红色，同时还可以设置观察者的位置、方向、高度，视域的水平张角和垂直张角、视域长度等等。

6. 采用半透明视图，练习铺设地下管线

单击主页菜单上的“地下模式(Underground Mode)”，所有地上的物体都变成半透明状，之后用户可以利用工具菜单上的“管线(Pipe Lines)”工具为地下管网建模。如图7-33所示。

7. 利用对象菜单的“文本(Text)”工具为上述车辆、树木、宿舍楼等三维模型添加标注

标注结果如图7-34所示。

8. 定位点与动画演示

(1) 为上述车辆、树木三维模型、宿舍楼等设置定位点。

预备知识中已经介绍过，定位点是TerraExplorer Pro中非常有用的一个功能。

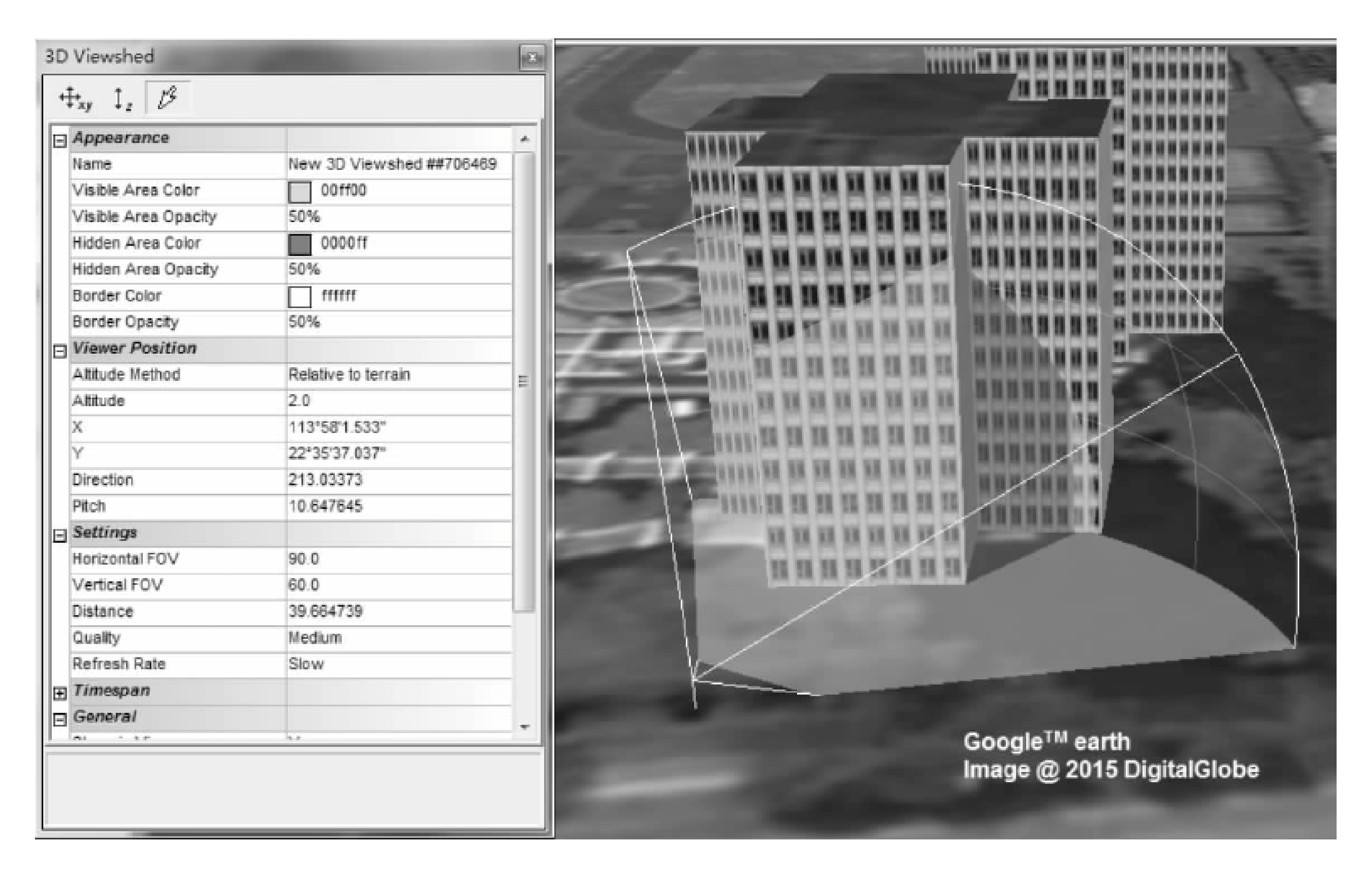


图 7-32　三维视域分析

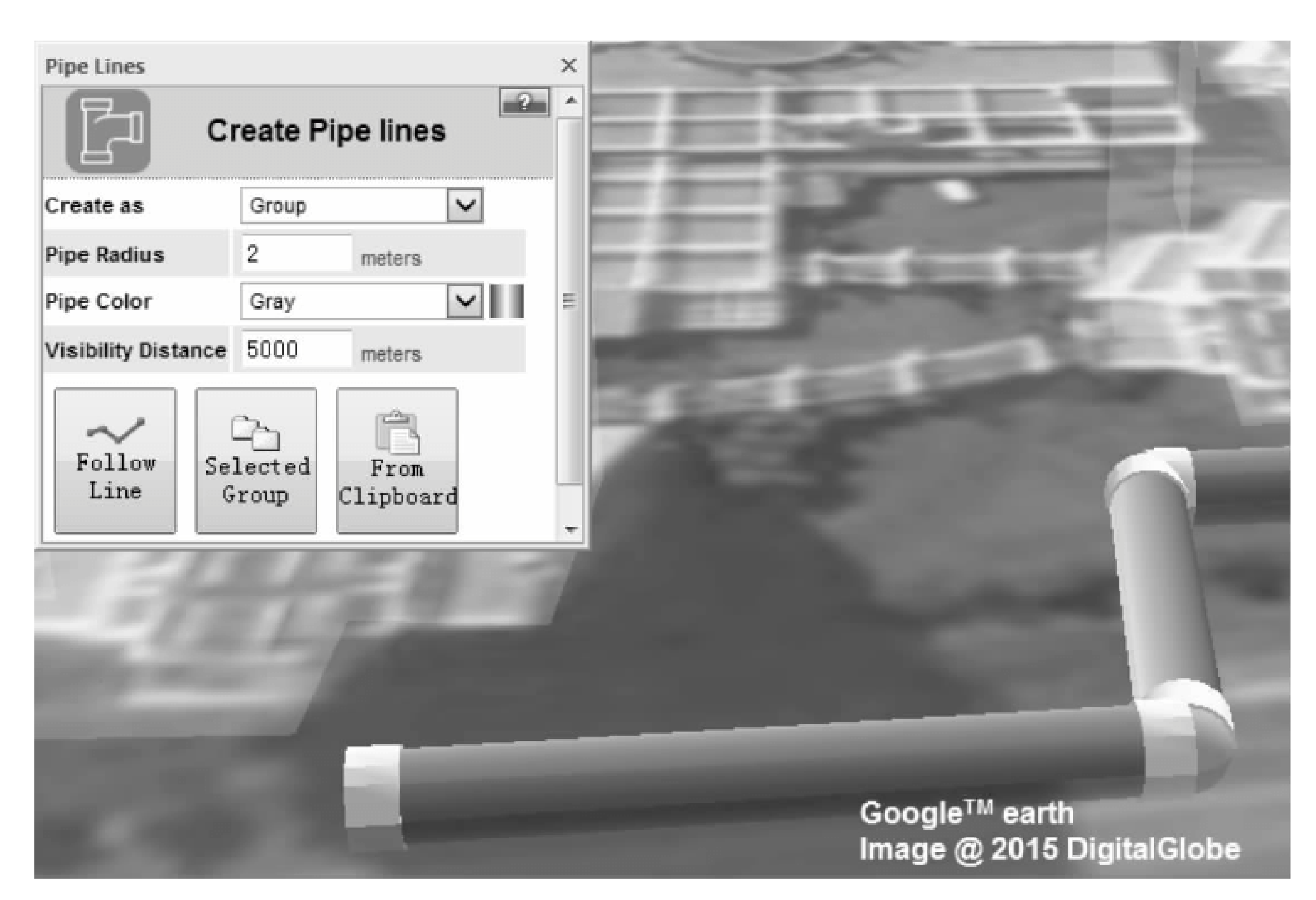


图 7-33　绘制地下管线

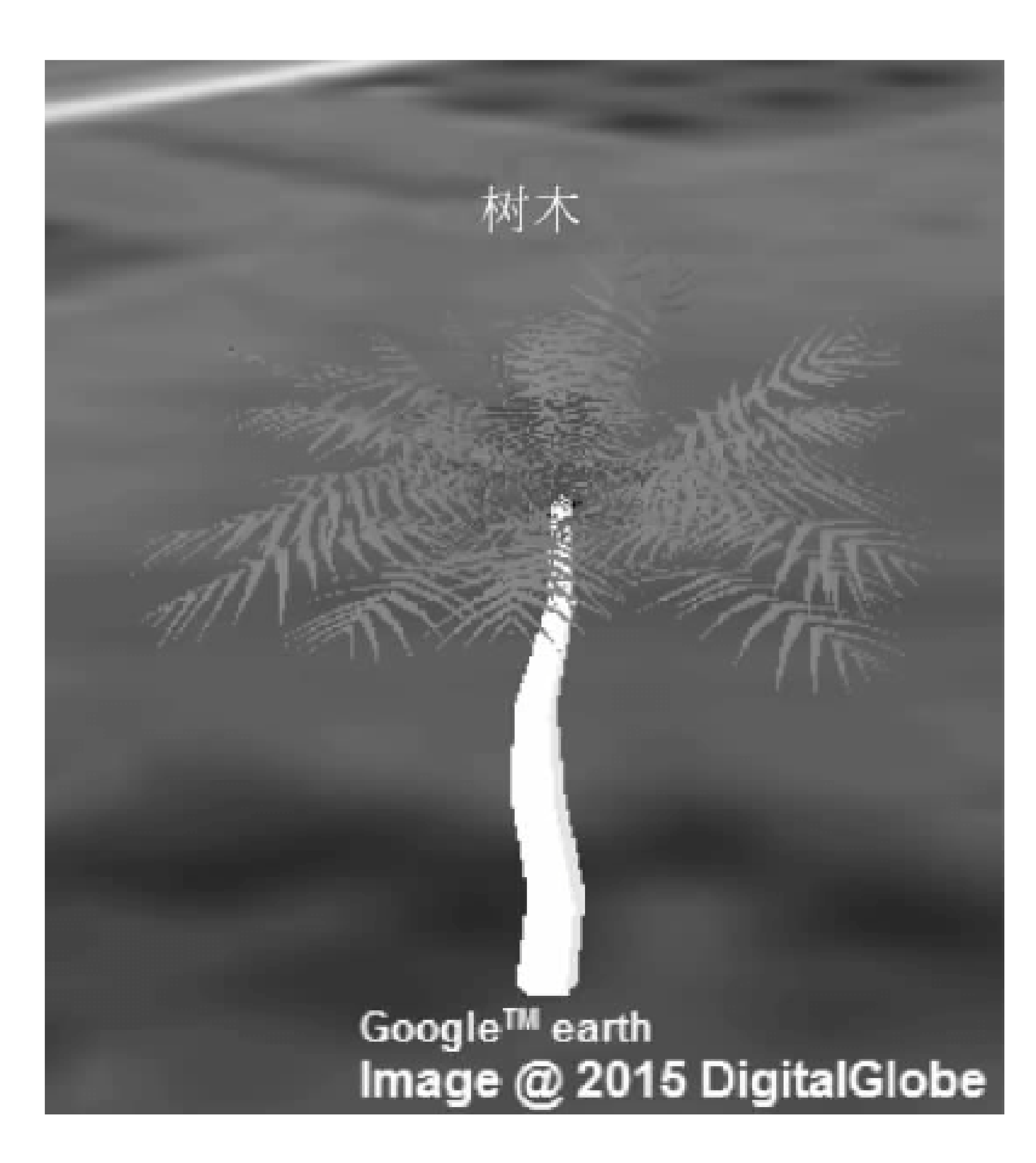


图 7-34　添加文本描述

以树木模型为例，利用导航工具将3D数据框定位到树木，使用主页菜单上的“添加(Add)|工程树(Project Tree)|创建组(Create Group)”，在工程树中创建一个组，重命名为“Location”，之后利用“添加(Add)|工程树(Project Tree)|创建定位点(Create Location)”工具，在组中创建一个定位点，重命名为“Tree Location”。

同理为车辆、宿舍楼等均设立定位点。

(2) 设置演示顺序，让视图在多个三维场景中自动跳转。

使用主页菜单上的“添加(Add)|演示(Presentation)”，在工程树中创建一个演示，菜单栏弹出演示可用的设置工具，如图7-35所示。

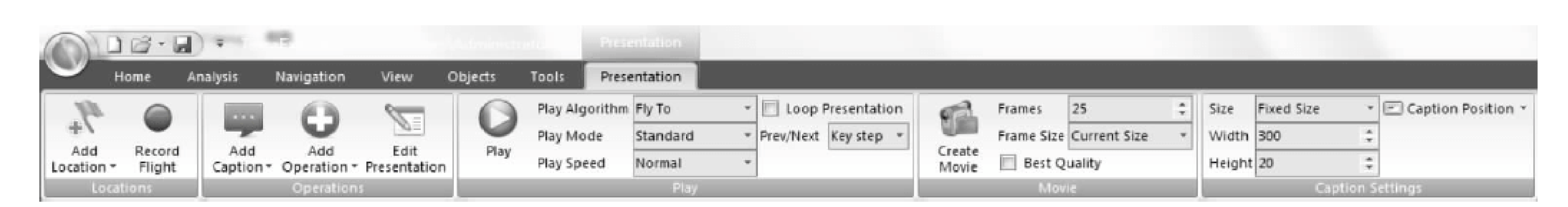


图7-35　演示菜单

以下操作都基于图7-35的工具，不再复述。单击上图中的“编辑演示(Edit Presentation)”，打开编辑对话框，利用“添加定位点(Add Location)|选择定位点(Select Location)”工具，添加上一步骤创建的三个定位点。设置自动延迟3秒后再跳转至下一个场景。用户还可以利用“添加字幕(Add Caption)”工具为每个场景添加说明文字，如图7-36所示。

Presentation Editor - Presentation

#	Type	Key	Description	Continue trigger	Seconds
1			Tree Location	Immediate	
2			Caption: 树木	Wait	3
3			Building Location	Immediate	
4			Caption: 宿舍	Wait	3
5			Bus Location	Immediate	
6			Caption: 车辆	Wait	3

Move Up　Move Down　Delete　Close

图7-36　编辑演示流程

设置完后关闭编辑器，在工程树窗口双击“演示(Presentation)”或者在上述工具栏中单击“播放(Play)”，可以看到场景的自动跳转。

六、拓展练习

利用TerraExplorer Pro软件搭建三维场景，模拟台风突发事件下，应急管理的全过程。并将整个过程制作为场景演示(Presentation)，实现动态推演。

场景描述(以下描述为基本要求，可在此基础上，结合校园的实际情况，自行扩展和完善场景演示的脚本内容)：

第一阶段(预测预警阶段)：

展示深圳及附近海域，在海域上标明台风路径、影响范围，及未来48小时行进路径。

以文字或者动态图片的形式发布台风预报(挂台风预警图标,启动台风预案,写出注意事项,如加固危险源、重点目标专人值守、注意高空坠物、尽量避免外出等)。

本实验提示6:可以从深圳市应急办网站下载相关的台风应急预案。

本实验提示7:可以使用实验练习5关于台风数据的追踪分析结果。

第二阶段(监测监控阶段):

用数个场景跳转表示台风前的预防准备,比如树木加固、重点目标专人值守、清理高空物品等。

展示深圳及附近海域,表示台风已正面登陆深圳,比预期的影响更为严重,因此需要预警升级,启动更高级别应急预案。用数个场景跳转表示台风肆虐,如车辆侧翻、电路被损坏、树木折断等。

第三阶段(处置救援阶段):

制作数个处置救援的场景,如应急指挥沟通,救护车救援,抢修电线,火警出动等,通过场景的切换,展示抗灾救灾的情形。

第四阶段(恢复重建阶段):

展示深圳及附近海域,表示台风已远离深圳,预警取消。

用吊车拖走折断的树木、抽排积水、房屋维修等场景来表现灾后恢复的情况。

实验八　地图发布的开源技术

一、实验目的

1. 了解地理空间领域的公益组织及其提供的开源资源。
2. 熟悉 WMS、WFS、WFS-T、WCS 等地图发布标准。
3. 了解几种常用的开源地图服务发布软件。
4. 掌握 GeoServer 软件的结构与地图服务发布方法。

二、实验内容

1. 利用 GeoServer 将数据发布成符合 WMS 标准的地图服务，提供地图的网络浏览功能。
2. 进一步将地图发布成符合 WFS 标准的地图服务，提供地图要素的空间查询服务。
3. 通过多种终端访问地图，理解地图发布的意义和作用。

三、输入输出

1. 输入文件：实验练习 2 拓展练习输出的地图工程文件与地理数据库。
2. 输出文件：无。

四、预备知识

1. OGC 与 OSGeo

OGC（Open GIS Consortium，开放地理信息系统联盟）是一个国际性的非营利组织，现有包括政府部门、企业组织、专业院校等 400 多个成员，主要致力于为公众制定开放式的地理信息标准规范，使其具有网络环境中透明地共享异构地理数据及其处理资源的能力，这些标准可以被任何组织免费获取[25]。

OGC 于 2001 年启动了专门研究如何利用网络服务及其相关技术解决地理信息领域互操作问题的工程项目，即 OGC Web 服务启动项目（OGC Web Service Initiative）。其目的是希望提出一个可进化、基于各种标准的、能够无缝集成各种在线空间处理和位置服务的框架，即 OWS（OGC Web Services），使得分布式空间处理系统能够通过 XML 和 HTTP 技术进行交互，并为各种在线空间数据资源、来自传感器的信息、空间处理服务和位置服务基于 Web 的发现、访问、整合、分析、利用和可视化提供互操作框架[25]。OWS 基本框架如图 8-1 所示[26]。OGC 先后领导制定了 WMS、WMTS、WFS、WFS-T、WCS、WMC、WPS 等多项基于网络服务的标准规范，后文将重点介绍其中的几种。

OSGeo（Open Source Geospatial Foundation，开源地理空间基金会）是一个国际化的非盈利组织，其主要目标是支持和推广开源地理空间技术和数据的协作开发[27]。OSGeo

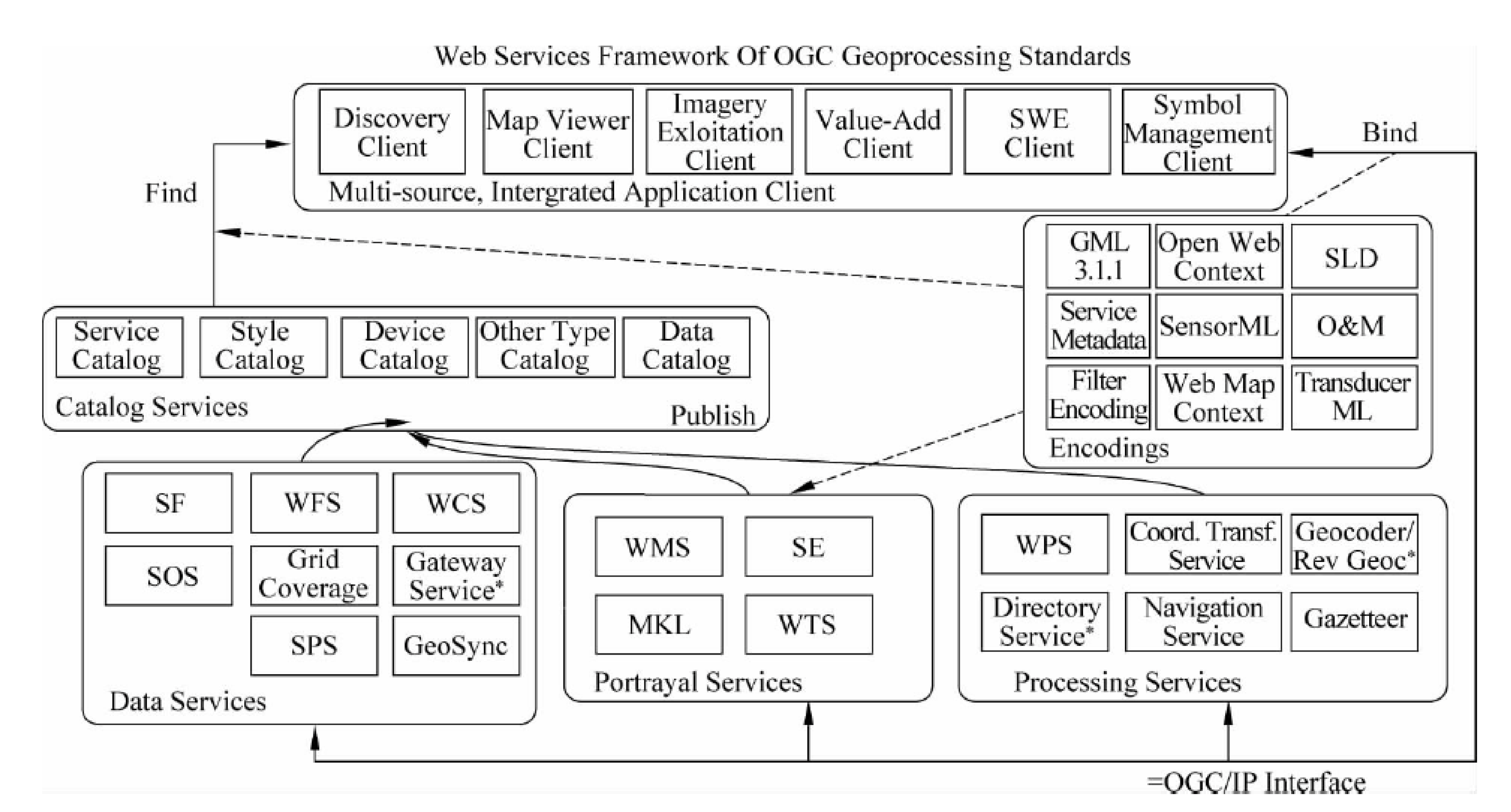


图 8-1　OWS 基本框架[26]

基金会向许多开源地理空间项目提供了财政、组织和法律方面的支持，帮助孵化了多个优秀的开源项目，同时也为地理空间行业提供开源软件、培训等服务。它同时也是独立的法人组织机构，社区成员可以贡献代码、资金和其他资源。这些贡献的资源将会以公众利益为目标来维护。OSGeo 作为开源地理空间社区的延伸，提供了公共论坛以及跨项目协作的共享基础。

在 OSGeo 的主页上可以看到 OSGeo 已有的项目和正在孵化的项目，如图 8-2 所示，红色方框内的均为网络地图服务类的项目。

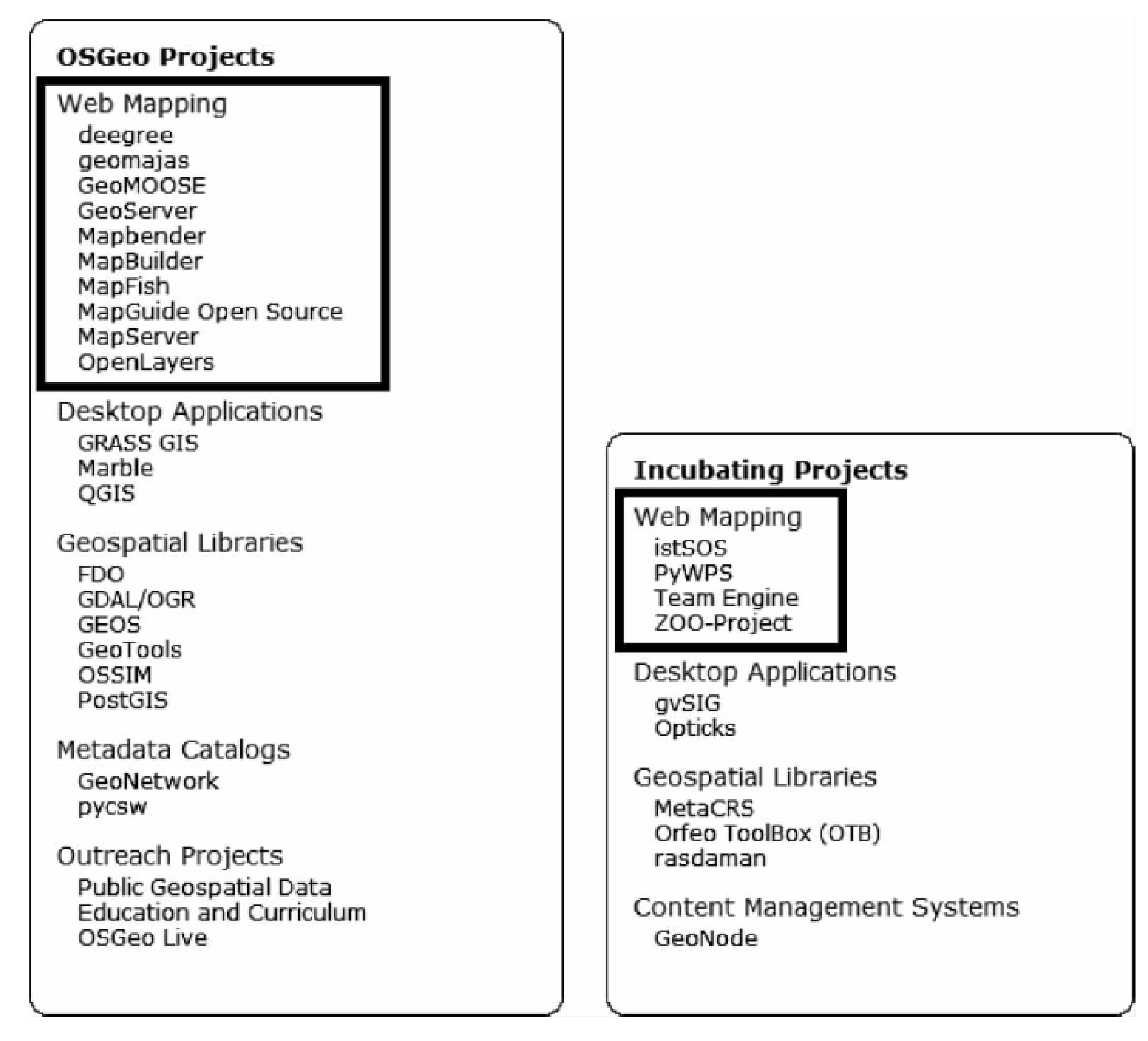


图 8-2　OSGeo 资助的项目[27]

OSGeo 所有的项目成果均遵循 OGC 标准，并以通过 OSI 开源软件促进会认证的协议发布，可以自由获取或使用。为了方便用户，OSGeo-Live 团队成员还特地收集、整理并制作了 OSGeo-Live GIS 光盘(镜像)/虚拟机，用于展示 OSGeo 项目中优秀的开源地理信息软件。

OSGeo-Live 是一套基于 Lubuntu 操作系统建立，可以从 DVD、USB 盘或虚拟机启动并独立运行的演示环境，它提供了一系列预先配置的应用程序，并包含了许多地理空间信息的使用案例、示例数据集和参考文档，用户可以不预先安装任何软件系统，就能使用 OSGeo 支持的众多开源地理空间信息软件[28]。其界面如图 8-3 所示。其中主要的网络服务和网络 GIS 软件如图 8-4、8-5 所示。用户可访问其中文主页 http://live.osgeo.org/zh/index.html，了解 OSGeo-Live 包含的所有资源。



图 8-3 OSGeo-Live 界面



图 8-4 OSGeo-Live 中包含的网络服务软件



图 8-5　OSGeo-Live 中包含的网络 GIS 软件

2. 网络地图服务标准

在 OGC 制定的各种网络服务标准中，最常见是提供可视化服务的 WMS 规范与提供数据服务的 WFS 规范。WMS 全称为 Web Map Service(网络地图服务)，顾名思义是地图服务器使用 GIS 数据库中的数据，通过网络提供一定空间范围内地图图片的服务，其客户端可以是简单的浏览器，也可以是类似于 ArcGIS 这样的客户端软件。WMS 服务目前共有四个版本，分别是 1.0.0、1.1.0、1.1.1、1.3.0，ArcGIS 支持所有版本。WMS 支持几种请求操作，如表 8-1 所示，其中 GetCapabilities 与 GetMap 是任何 WMS 服务器必须支持的操作。

表 8-1　WMS 支持的主要操作

操作名称	操作说明	可选/必选
GetCapabilities	获取元数据文档	必选
GetMap	获取地图影像	必选
GetFertureInfo	获取地图上的要素信息	可选
DescribeLayer	获取地图上的要素类型信息	可选
GetLegendGraphic	返回地图图例信息	可选

在 WMS 标准的基础上，发展出 WMTS(Web Map Tile Service，网络地图瓦片服务)标准规范，服务端能够预先按照一定的规则生成固定大小的瓦片，客户端可以直接请求相应的瓦片，这样可以加快网络地图服务的速度，减少冗余信息。

WFS 全称为 Web Feature Service(网络要素服务)，该标准允许客户端通过一定的查询条件，请求服务端直接返回 GML 或者 shapefiles 格式的矢量数据，因此 WFS 能够提供数据服务。目前 WFS 有 1.0.0、1.1.0、2.0.0 版本，ArcGIS 支持所有版本。WFS 的基础

接口如表 8-2 所示，还有类似 Transaction、LockFeature 等一些可选的操作，此处不展开详述。

表 8-2 WFS 支持的基本操作

操作名称	操作说明	可选/必选
GetCapabilities	获取元数据文档	必选
DescribeFeatureType	获取地图要素结构	必选
GetFeature	获取地图数据	必选

在 WFS 的基础上发展出的 WFS-T(交互式 WFS)协议，允许客户端对服务端的矢量数据进行编辑、删除或更新等操作，实现客户端与服务端的直接交互。

WCS 全称为 Web Converage Service(网络覆盖服务)，WCS 标准提供了通过网络获取栅格数据集的开放规范，通过 WCS 服务获取的栅格数据集被称为 coverage 数据。

此外还有 WPS(Web Processing Service)、WMC(Web Map Context)、CWS(Catalog Service for Web)等标准规范，在 OGC 网页上有详细介绍，此处不再详述。

3. GeoServer 快速浏览

GeoServer 是一个用于浏览、编辑与分享地理空间数据的基于 JAVA 的开源软件，内嵌 OpenLayers 库，支持 OGC 制定的 WMS、WFS、WCS 等标准规范[29]。

GeoServer 在 Window 系统下其中文界面如图 8-6 所示，左侧为菜单面板，中间为内容面板。在“服务能力”一列列出了用户所安装的 GeoServer 支持的标准规范版本号。

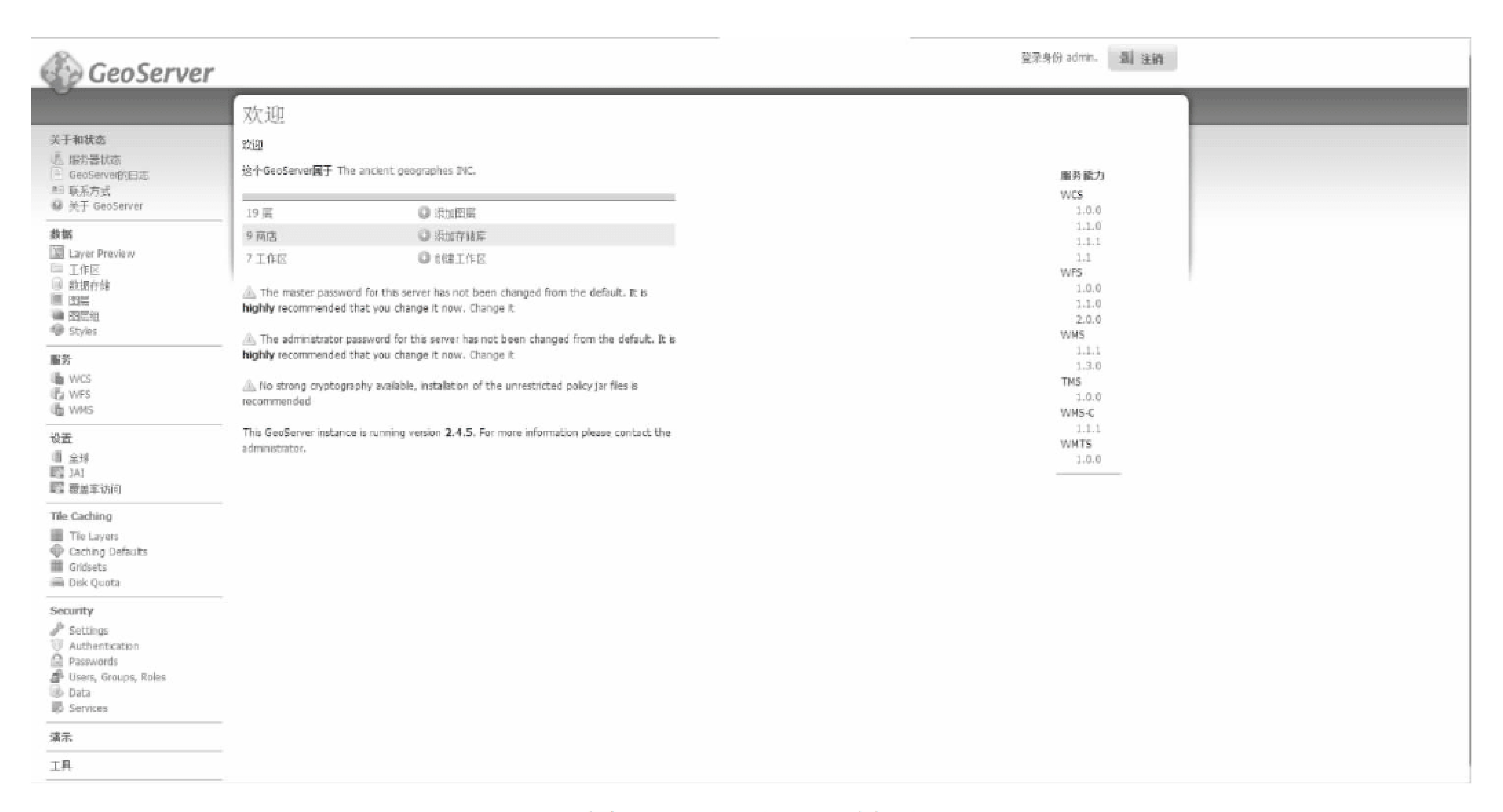


图 8-6 GeoServer 界面

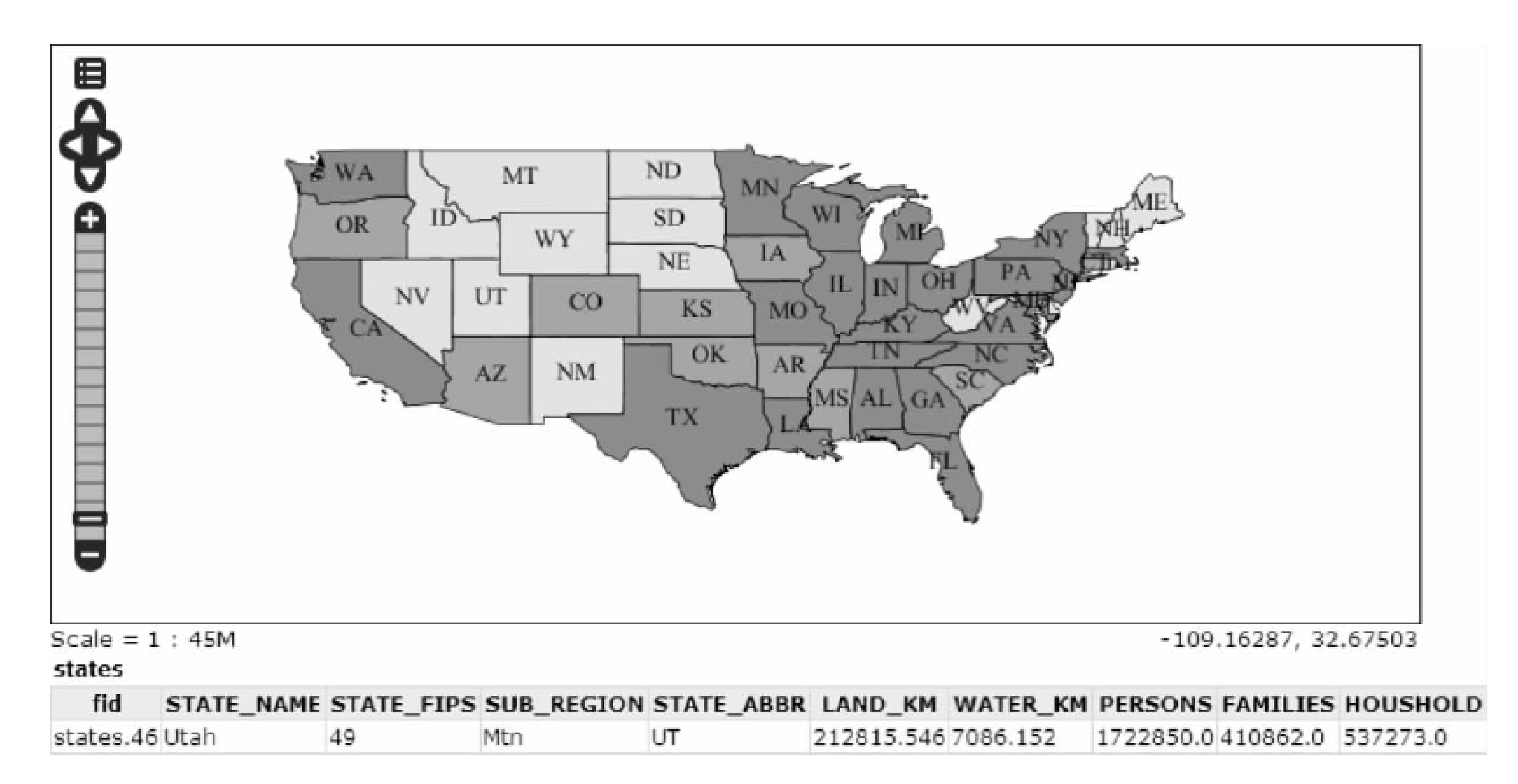
菜单面板中大部分用于参数设置，在默认设置下，最常用的是“数据”和“演示”面板。

数据面板通过工作区、数据存储、图层组、图层等几个层次来组织数据。工作区类似于 ArcGIS 中的地理数据库，将相关的图层数据组织在一起。数据存储类似于 ArcGIS 中的数据集，不同在于一个栅格文件必须占用一个数据存储区，而多个矢量数据可以共用一

个数据存储区。图层的概念与 ArcMap 类似，每个栅格数据或者每个点、线、面要素类都可以形成一个图层。多个图层可以组成一个图层组。通过数据面板上的“图层预览(Layer Preview)”可以浏览 GerServer 自带的已发布为 WMS 或 WFS 的图层数据，如图 8-7 所示，在“类型(Type)”一列，不同的图标表示不同的数据类型。用户可以单击某一图层右侧的“Openlayers”，或者在“All Formats”下拉列表中选择 WMS 标准下的某种格式，通过浏览器预览发布的图层，比如图 8-8 显示的是利用 Openlayers 绘出并发布的 toop 工作区的 states 图层，显示的是美国的人口分布，除了能够调整比例尺之外，还能显示鼠标经过位置的经纬度信息以及鼠标单击位置的要素信息。



图 8-7　GeoServer 自带的图层数据



fid	STATE_NAME	STATE_FIPS	SUB_REGION	STATE_ABBR	LAND_KM	WATER_KM	PERSONS	FAMILIES	HOUSHOLD
states.46	Utah	49	Mtn	UT	212815.546	7086.152	1722850.0	410862.0	537273.0

图 8-8　利用 Openlayers 绘制并发布的地图数据

演示面板中的"Demo request"提供了多种向地图服务端请求数据的示例，比如选择"WMS_getMap_OpenLayers. url"，请求 WMS 规范的，用 OpenLayers 绘制的地图，在 URL 栏出现了一串 URL 地址：

http://localhost: 8080/geoserver/wms? bbox = -130, 24,-66, 50&styles = population&Format = application/openlayers&request = GetMap&layers = topp:states&width=550&height=250&srs=EPSG:4326

将其拷贝到浏览器的地址栏，回车后就可以看到与图 8-8 相同的页面。这串 URL 地址提供了一个基本的格式，指导用户如何从客户端向服务端请求某种地图操作。用户可以将 locahost 换成服务端的 IP 地址，通过不同计算机进行试验。

五、实验步骤

1. 准备发布数据

将实验练习 2 拓展练习中绘制的点、线、面图层导出成 shp 文件，将地理数据库中的深圳大学城清华园区栅格数据集导出为 tif 格式的栅格数据，统一使用 WGS84 坐标。

2. 启动 GeoServer 软件(以 2.4.5 版本为例)

单击"开始|程序|Geoserver 2.4.5|Start Geoserver"，启动 Geoserver。

在本机浏览器中打开如下链接：http://IP:8080/geoserver/web

IP 可以是 localhost、127.0.0.1 或者本机 IP 地址，比如 http://localhost:8080/geoserver/web

使用默认的用户名/密码(admin/geoserver)登录，登录后界面如图 8-6 所示。

3. 利用栅格文件和 shapefile 文件，练习发布 WMS 和 WFS 服务

(1) 为方便使用，可以先将预发布的文件拷贝到 geoserver 根目录下的/data_dir/data/中(geoserver 默认的数据源路径)。

(2) 建立新的工作区，注意工作区名称不能超过十个字符，不能含有空格。

单击"数据面板|工作区"，选择"添加新的工作区"，输入新工作区名字，比如 Tsinghua。

URI(Uniform Resource Identifier)是通用资源标识符，网络上的每种可用资源都有一个 URI 进行定位，一般是一个指向工作区的 URL 地址。

在"数据面板|工作区"中单击新建的 Tsinghua 工作区，设为默认工作区，并启动所有网络服务。如图 8-9 所示。

(3) 建立新的数据存储与图层，发布并预览图层。

单击"数据面板|数据存储"，选择"添加新的数据存储"，选择数据源为 GeoTIFF 格式的栅格数据源。输入数据存储的名称并连接到 Tsinghua_sz_WGS84. tif 文件。保存之后会直接跳转到添加新图层界面，单击"发布"，进入图层发布参数设置界面，包括数据、发布、维度、Tile Caching 四个面板，如图 8-10 所示。



图 8-9　编辑工作区



图 8-10　编辑图层

用户需要将数据页的坐标参考系统设为 EPSG:4326(WGS84),并计算外边界,其余项可保持默认设置,如图 8-11 所示。



图 8-11　设置图层的坐标参考系统与外边界参数

设置完后单击保存，返回图层预览。

单击 Tsinghua：Tsinghua_sz_WGS84 图层右侧的 Openlayers，在浏览器中浏览该图层，如图 8-12 所示，单击图层上某一像元，还能查询该像元四个波段的像元值。



Tsinghua_sz_WGS84

fid	RED_BAND	GREEN_BAND	BLUE_BAND	ALPHA_BAND
	95.0	104.0	101.0	255.0

图 8-12 已发布的栅格地图

类似地，用户可以在同一工作区中继续添加矢量数据图层，并将其发布，可以先用 ArcGIS 将矢量数据导出为 shapefile 格式（.shp），再添加到 Geoserver 中，以某条路的 GPS 采集数据为例，发布后的地图如图 8-13 所示。

4. 通过 Web 互相访问各人发布的 WMS 服务

在图层浏览中单击 Tsinghua：Tsinghua_sz_WGS84 图层右侧下拉列表中 WMS 下的某种格式，比如 JPEG，查看新弹出的浏览器地址栏：

http://localhost:8080/geoserver/Tsinghua/wms? service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=Tsinghua:Tsinghua_sz_WGS84&styles=&bbox=113.96082947341439,22.589081437376333,113.97193990998541,22.59774350587904&width=512&height=399&srs=EPSG:4326&format=image%2Fjpeg

将 localhost 换成服务端 IP 地址，即可以在客户端浏览该图层。

5. 在 ArcMap 中使用各人发布 WMS 服务，并利用识别工具识别各图层

打开 ArcMap，新建一个工程文件。在 Catalog 窗口中双击“GIS 服务（GIS Servers）| 添加 WMS 服务（Add WMS Server，见图 8-14）”。

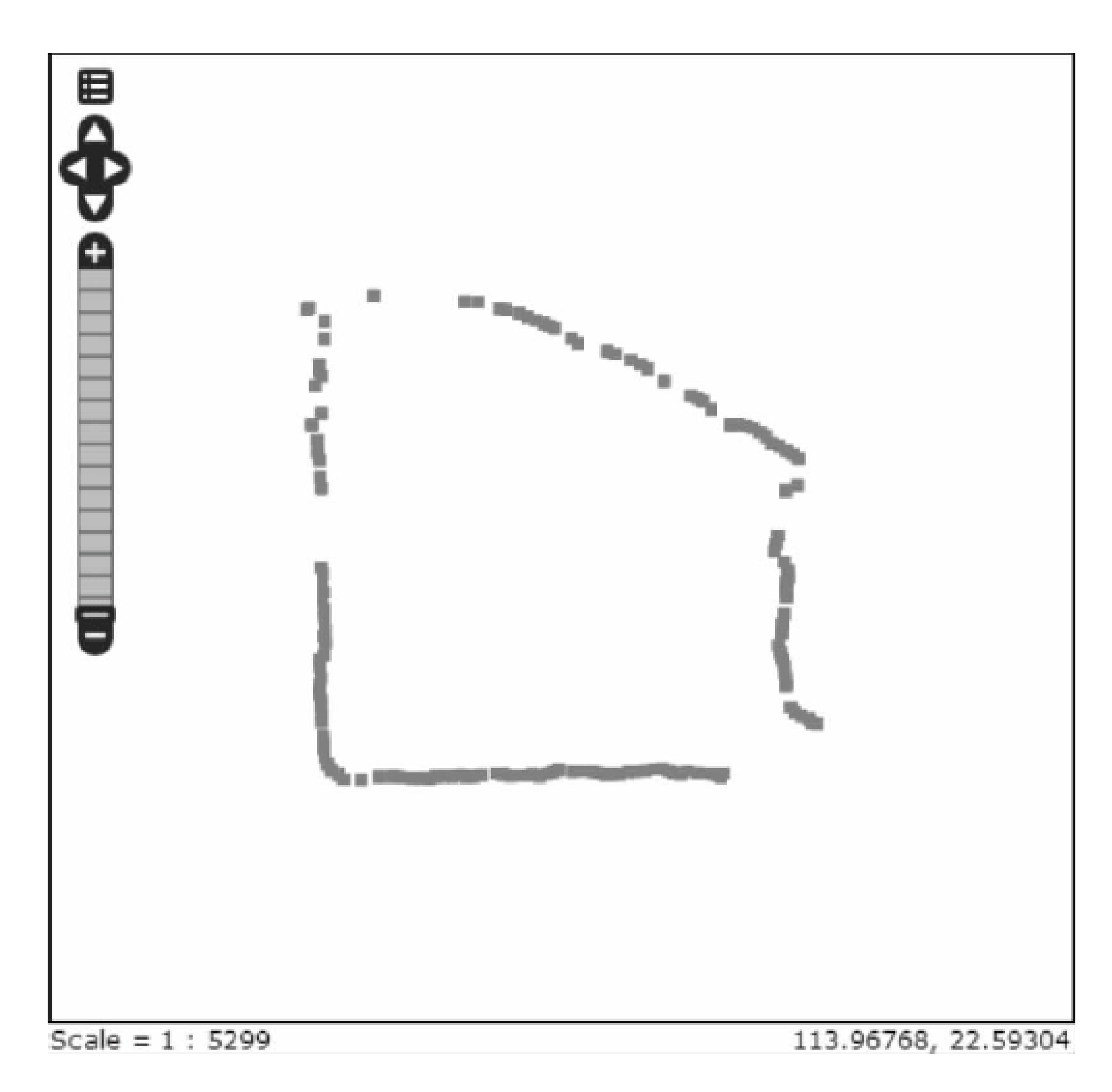


图 8-13　已发布的矢量地图

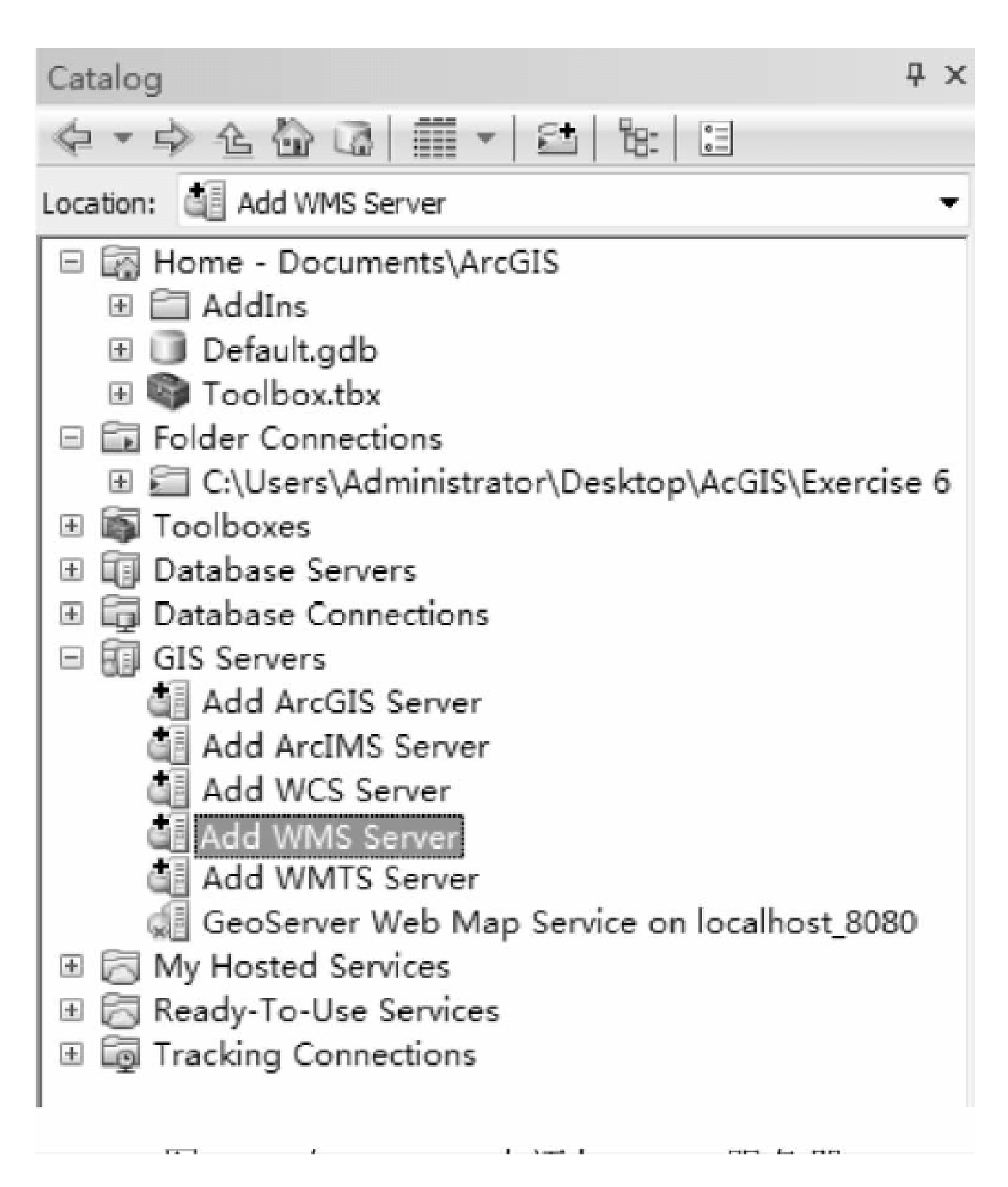


图 8-14　在 ArcMap 中添加 WMS 服务器

在打开的对话框中输入服务端 URL 地址：

http://localhost:8080/geoserver/wms? service=wms，如图 8-15 所示。单击“获取图层（Get Layers）”，列表中将列出服务端所有发布为 WMS 的地图，其中就有上面步骤中添加的 Tsinghua_sz_WGS84 栅格图层。单击“确定（OK）”，在 Catalog 窗口的 GIS 服务（GIS Servers）中将出现服务端名称以及其发布的地图目录，如图 8-16 所示。在其中找到

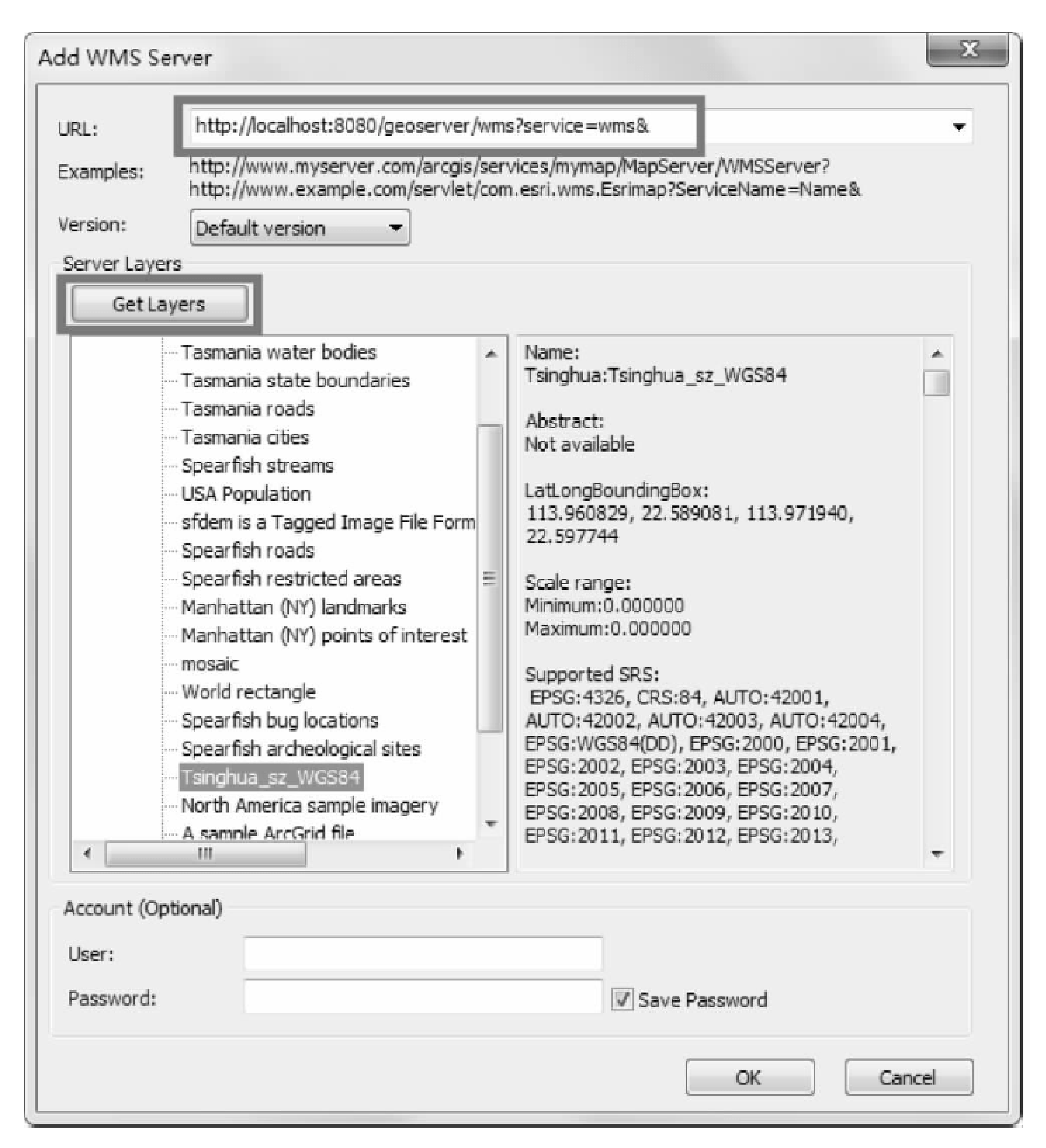


图 8-15　在 ArcMap 中添加 WMS 服务器

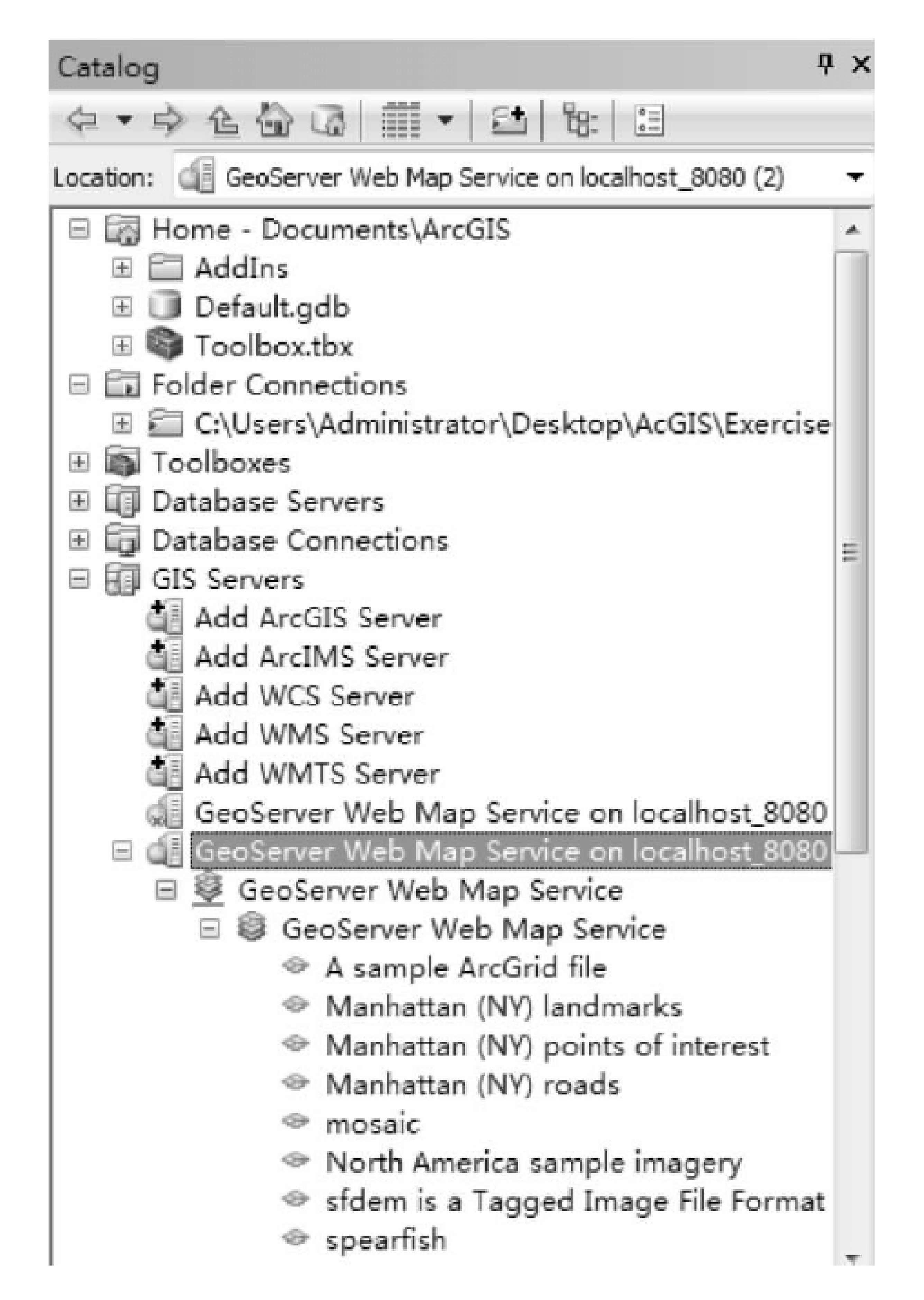


图 8-16　WMS 服务器上的可用图层

Tsinghua_sz_WGS84，并将其拖曳至数据框，如图 8-17 所示。由于是从网络端获取的地图服务，地图数据显示会稍有滞后，用户可以查看该图层在内容列表中的图例，此时从图例中已经无法看出该栅格数据包含的波段信息，可以使用识别工具 单击地图上某一点，查看该点的属性。

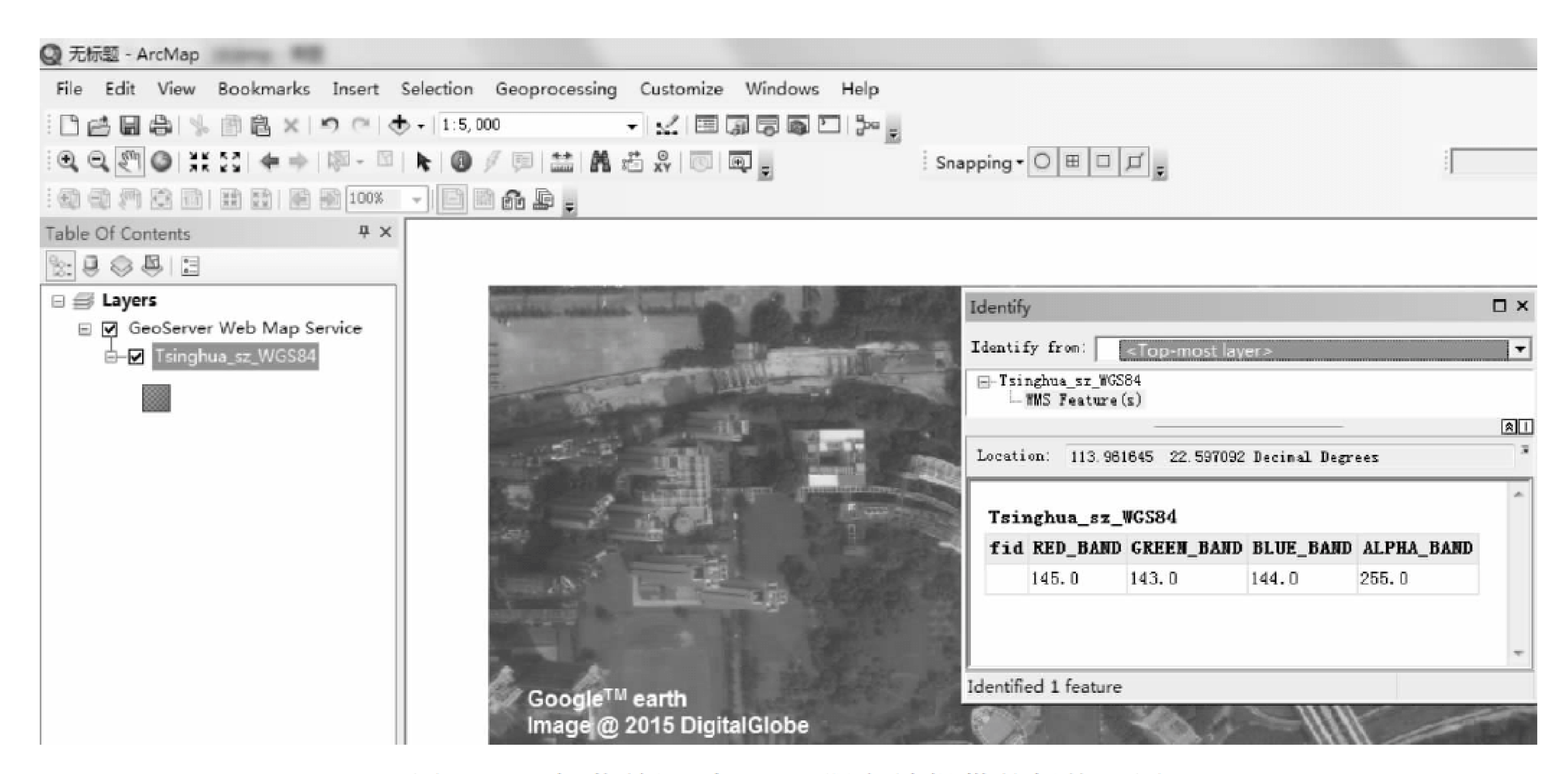


图 8-17　加载并识别 WMS 服务端提供的栅格地图

6. 在 Arcmap 中使用各人发布 WFS 服务，查看各图层属性表，利用选择工具选择感兴趣的要素，理解 WFS 服务与 WMS 服务的区别

要在 ArcMap 中连接 WFS 服务器，需要预先安装数据互操作模块 ArcGIS Data Interoperabolity，如未安装，请使用 ArcGIS 安装包安装此扩展模块。

在 ArcMap 的 Catalog 窗口选择“互操作连接(Interoperability Connections)|添加互操作连接(Add Interoperability Connections)”，在打开的对话框中选择“WFS(Web Feature Service)”格式，并填入服务端 URL 地址：http://localhost:8080/geoserver/wfs?service=wfs，如图 8-18 所示。单击“参数(Parameters)”按钮，在打开的参数设置对话框的“要素类型(Feature Type)”中选择要连接的要素，比如新添加的 GPS 数据，如图 8-19 所示。

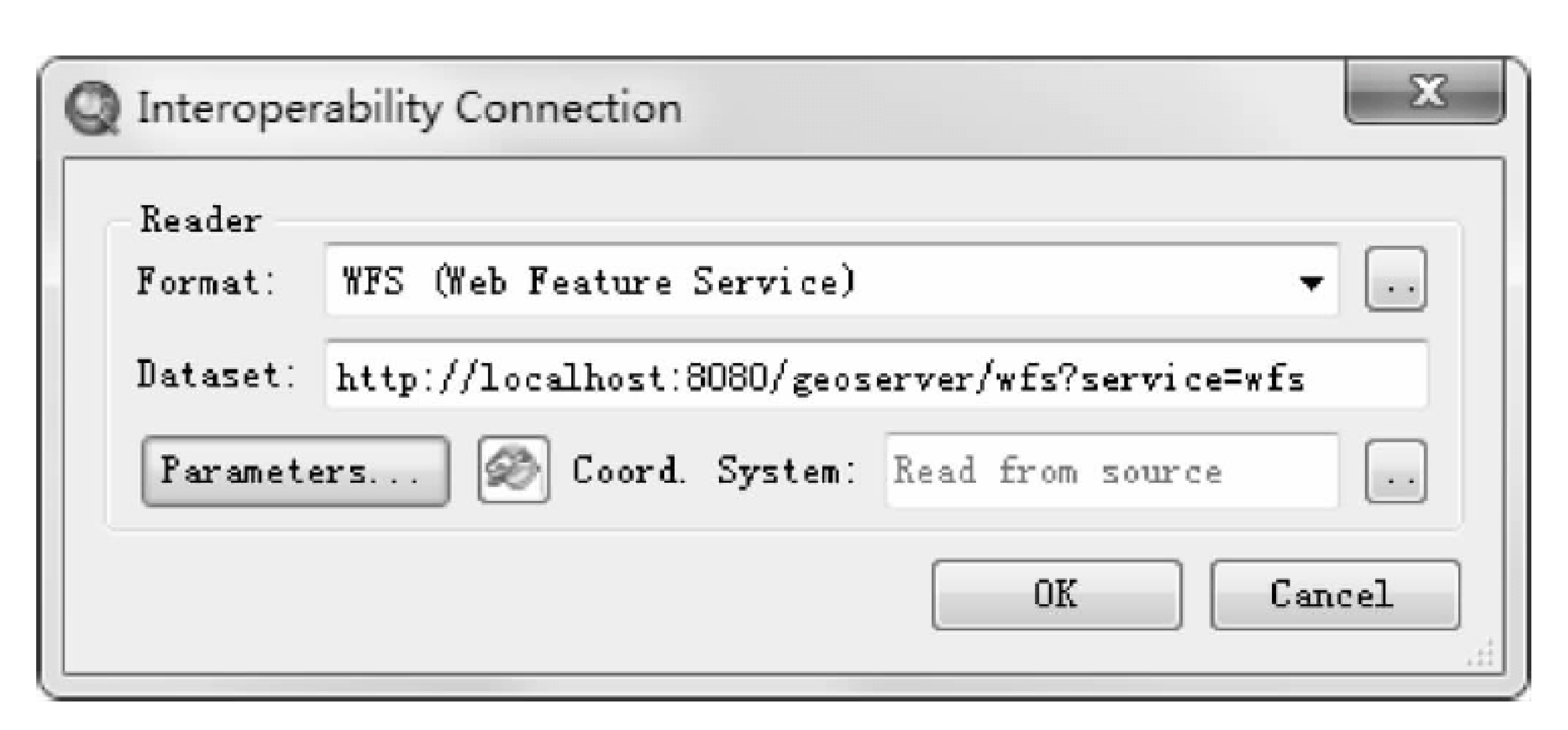


图 8-18　互操作连接对话框

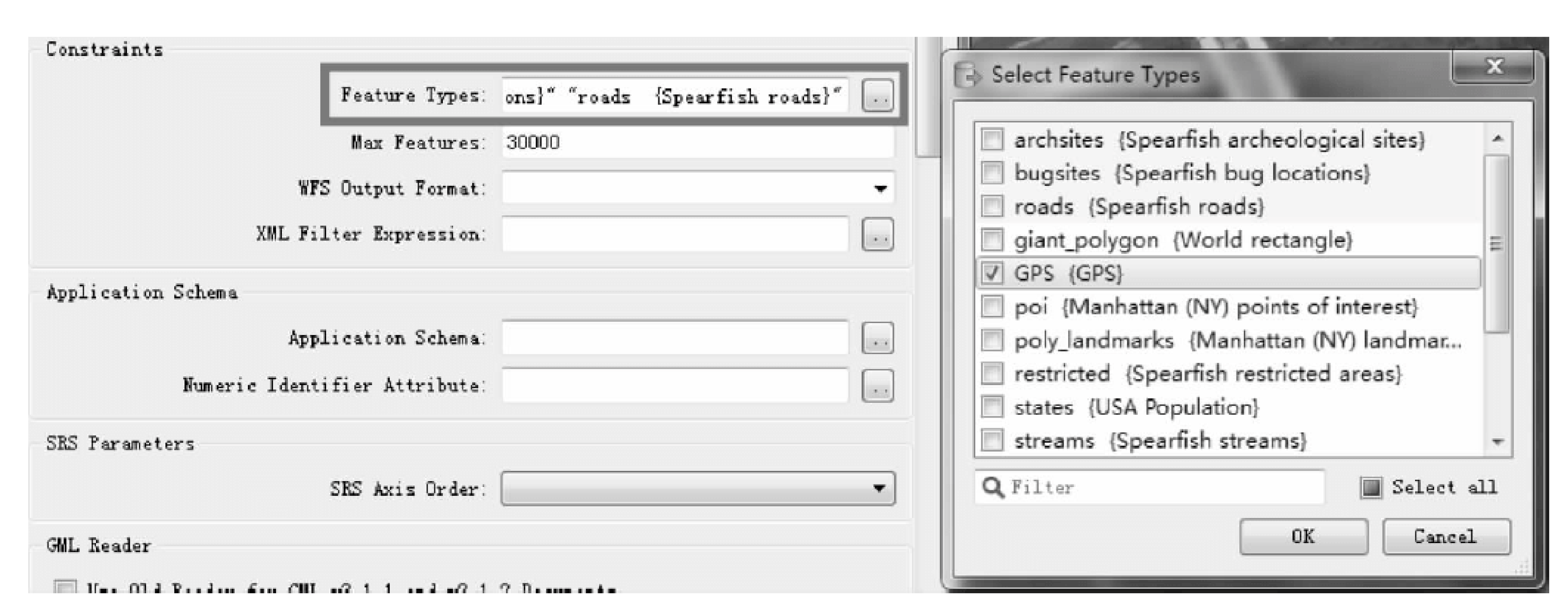


图 8-19　选择要从 WFS 服务端获取的要素

之后用户可以在 Catalog 窗口看到“互操作连接(Interoperability Connections)”下包含了一个连接 Connection1,内含 GPS 图层,如图 8-20 所示。

注意每一个 Connection 下的图层都应该使用同一个坐标系统,也就是说,不同坐标系统的图层需要分别通过互操作连接来添加。

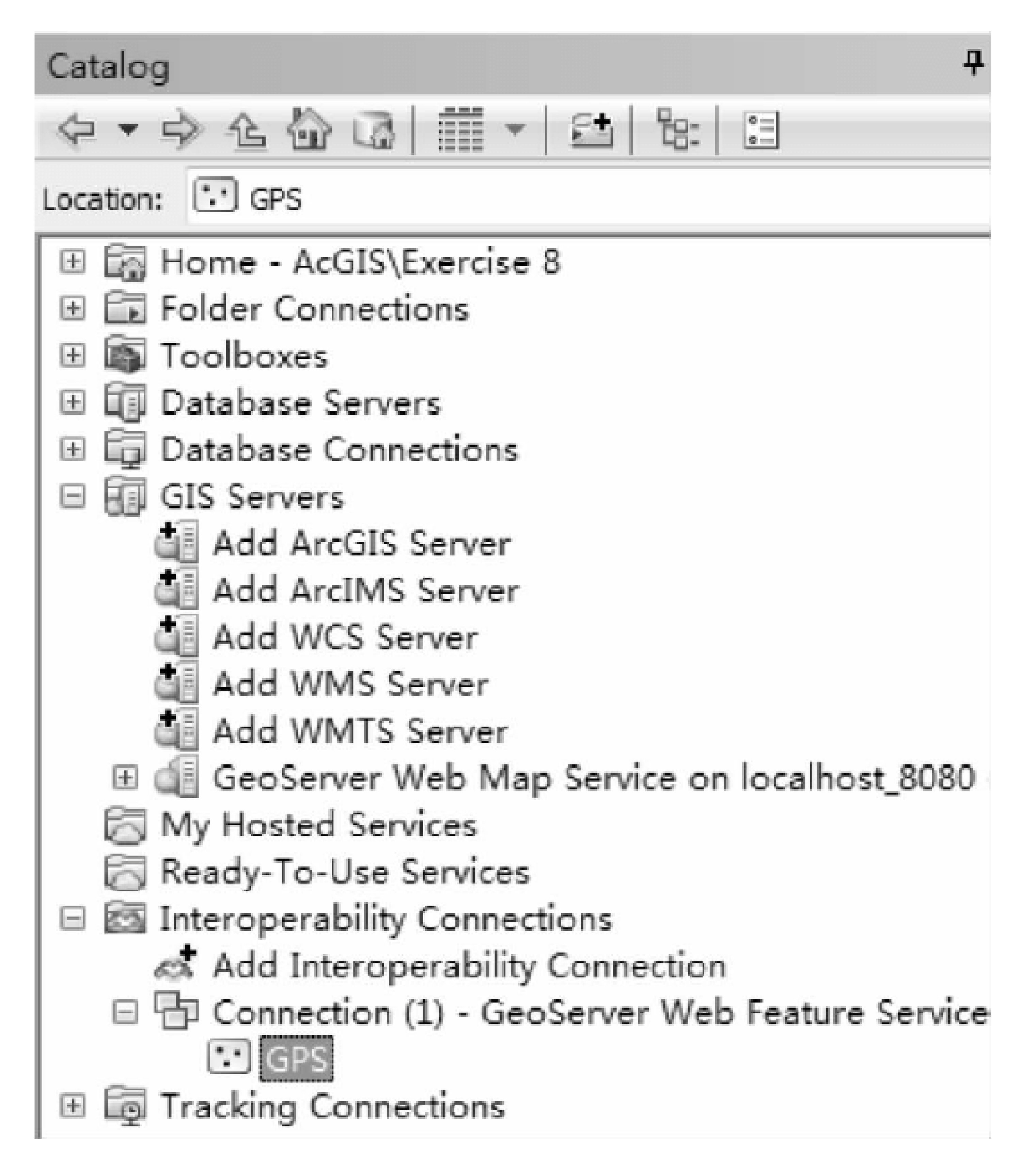


图 8-20　已从 WFS 服务端获取的要素

将 Catalog 目录下,通过 GeoServer WMS 服务端获取的 GPS 图层和 WFS 服务端获取的 GPS 图层都添加到数据框中,如图 8-21 所示。单纯查看数据框的地图,两者似乎没有区别,但是在内容列表相应图层上打开右键快捷菜单,不难发现通过 GeoServer WMS 服务端获取的 GPS 图层只能浏览,而通过 WFS 服务端获取的 GPS 数据与从本地地理数据库加载的要素数据一样,用户能够查阅其属性表、设置标注、修改其符号系统等。因此可以理解,WMS 提供可视化服务与 WFS 提供数据服务的区别。

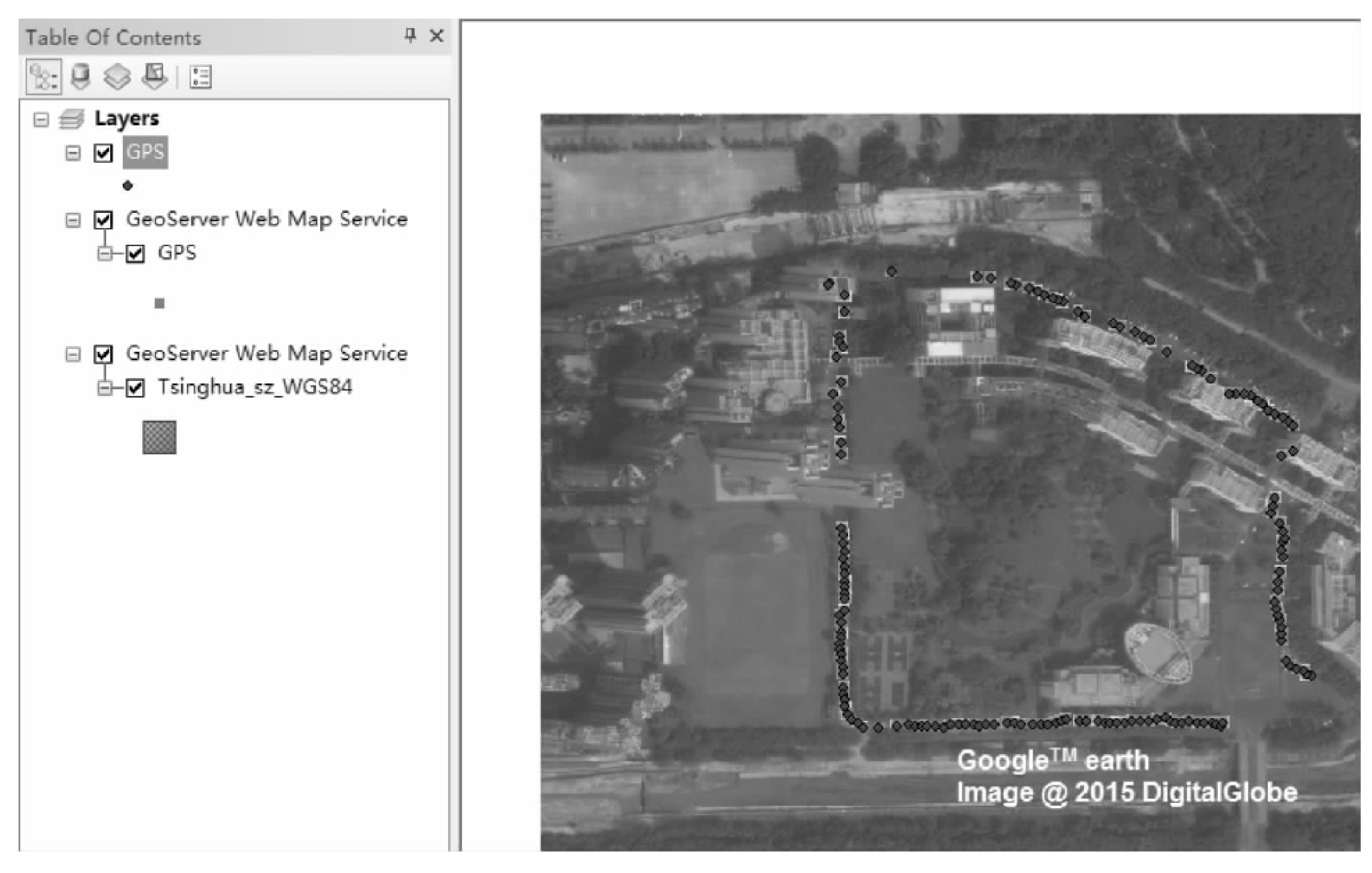


图 8-21　加载从 WMS 服务端和 WFS 服务端获取的地图

参 考 文 献

[1] 张军,涂丹,李国辉. 3S技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2013.

[2] 中华人民共和国突发事件应对法[M]. 北京:中国法制出版社,2010.

[3] Thsha Wade, Shelly Sommer. A to Z GIS 图解词典[M]. 北京:科学出版社,2011.

[4] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"地理数据库"部分[DB].

[5] Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty. GPS 原理与应用[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2014.

[6] Garmin eTrex20 手册[S]. http://www.garmin.com.cn/products/forthesurveying/eTrex20/.

[7] GNSS Planning Online 主页[EB]. http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline/#/Settings.

[8] Garmin Basecamp 手册. http://www.garmin.com.cn/products/application/basecamp/.

[9] 刘贵明,毛政利. 地理信息系统原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2012.

[10] Robert A. Schowengerdt. 遥感图像处理模型与方法[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社,2010.

[11] 吴信才,徐世武,万波. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社,2014.

[12] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"与图层内容交互"部分[DB].

[13] Kang-tsung Chang. 地理信息系统导论[M]. 北京:清华大学出版社,2009.

[14] 周成虎,裴韬,等. 地理信息系统空间分析原理[M]. 北京:科学出版社,2011.

[15] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"网络分析"部分[DB].

[16] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"追踪分析"部分[DB].

[17] 朱新征. 空间信息数据库[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.

[18] 梅安新,彭望琭,秦其明,等. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社,2012.

[19] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"空间分析"部分[DB].

[20] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"地理处理"部分[DB].

[21] 王远飞,何洪林. 空间数据分析方法[M]. 北京:科学出版社,2007.

[22] ArcGIS Desktop 10.2 帮助文件,"环境设置"部分[DB].

[23] SkylineGlobe 官网[EB]. http://www.skylineglobe.cn/index.aspx.

[24] 3D Warehouse[EB]. https://3dwarehouse.sketchup.com/.

[25] Open GIS Consortium[EB]. http://www.opengeospatial.org/.

[26] OWS 基本框架[DB]. http://live.osgeo.org/en/standards/standards.html.

[27] Open Source Geospatial Foundation[DB]. http://www.osgeo.org/.

[28] OSGeo-Live[DB]. http://live.osgeo.org/en/index.html.

[29] GeoServer[DB]. http://geoserver.org.